



**Raquel Liliana
Moreira Silva**

**Vocalizações na Coruja-do-mato (*Strix aluco*): uma
análise bioacústica**



**Raquel Liliana
Moreira Silva**

**Vocalizações na Coruja-do-mato (*Strix aluco*): uma
análise bioacústica**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Biologia Aplicada ramo de Ecologia, Biodiversidade e Gestão de Ecossistemas, realizada sob a orientação científica do Doutor António Manuel da Silva Luís, Professor Auxiliar do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro e do Doutor Paulo Jorge Gama Mota, Professor Associado, com nomeação definitiva, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

o júri

Presidente

Doutor João António de Almeida Serôdio

Professor Auxiliar do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro

Vogais

Doutor Gonçalo Canelas Cardoso

Investigador doutorado do Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO) (Arguente Principal)

Doutor António Manuel da Silva Luís

Professor Auxiliar do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro (Orientador)

Doutor Paulo Jorge Gama Mota

Professor Associado, com nomeação definitiva, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (Co-Orientador)

agradecimentos

Deixo o meu agradecimento a todas as pessoas e entidades que contribuíram para a realização deste trabalho, em destaque:

Ao Prof. Doutor António Luís pela orientação e por mais um ano de continuidade do estudo deste interessante grupo de aves.

Ao Prof. Doutor Paulo Gama pela ajuda, orientação, conhecimento partilhado, disponibilidade ao longo da dissertação e pela iniciação no encantador campo da bioacústica.

À Lúcia Lopes e ao André Aguiar pelo apoio, por bem me receberem no mundo das noturnas, pelas idas ao campo, pelo incremento científico e por facilitarem largamente o meu trabalho com base na partilha.

Ao Ricardo Brandão pelo apoio prestado, uma vez mais, enquanto profissional e representante do CERVAS.

À Teresa Mamede, Caterina Funghi e Catarina Araújo pelas várias elucidações.

Agradeço a presença, a constância, o envolvimento, o afecto e, também, a ajuda e o espírito crítico do Valter Fernandes e da Tânia Mendes, dois seres que prezo bastante.

Ainda à Diana Branco pelo “não haver distância” e pelo carinho.

Pelas memórias e sorrisos em Gouveia à Inês Efe e à Joana Lopes.

Por fim, um grande obrigada à minha família próxima pois sem eles este trabalho não seria possível. Obrigada à mãe pelo suporte emocional, por tudo!

Palavras chave

Coruja-do-mato, *Strix aluco*, vocalizações, espectrogramas, reconhecimento individual

Resumo

As vocalizações das aves apresentam a potencialidade para exibir uma considerável variabilidade individual baseada nas diferenças de desenvolvimento comportamental e de maturação, não obstante as limitações fisiológicas e morfológicas a que estão sujeitas. A maior parte dos Strigiformes são territoriais, evidenciam uma elevada fidelidade ao território e são caracterizados pela sua vocalização de longo alcance, traço esse usado para mostrar a distinta individualidade de algumas espécies, sem recurso a métodos invasivos. Com este trabalho pretende-se contribuir para ampliar a informação sobre as aves de rapina noturna, em geral, e para a Coruja-do-mato em particular. Para tal, com base na análise de espectrogramas de gravações da vocalização territorial da espécie visou-se distinguir diferentes indivíduos. Foram coletados 579 *hoots* reunidos ao longo de duas épocas reprodutivas, 2010 e 2012. Destes foram selecionados 161 *hoots*, correspondentes a 16 indivíduos, dos quais se extraíram 14 parâmetros acústicos. A amostra de sons foi submetida a análises univariadas e multivariadas, revelando uma elevada variabilidade entre indivíduos por comparação à variabilidade intra-individual. Adicionalmente, a ANOVA indicou que os todos parâmetros vocais variam significativamente entre si, com destaque para D1, I1, I2, FML e DTOT segundo a PCA. A análise discriminante linear (LDA) produziu uma classificação de 99.4% para o total da amostra e de 97.5% via cross-validation. Tais resultados revelam que a Coruja-do-mato possui *hootings* fortemente distintos ao nível individual, sobretudo nos parâmetros temporais I1, I2 e DTOT. Paralelamente, uma sub população de 7 casais foi submetida à verificação de sexos com recurso à análise aglomerativa *cluster*. Com intuito de testar a convergência vocal dentro do par procedeu-se ao teste de Dunnet que indica uma possível homogeneização da vocalização nos elementos do casal, para os seguintes parâmetros D2, I1, FML, LF e DHL. Pode assumir-se a hipótese da similaridade vocal entre sexos do par, reservando a questão para investigação posterior. Quanto à estabilidade vocal a LDA separou corretamente 96.1 e 90.9% dos indivíduos denotando algumas dissimilaridades, mas, em geral, com proximidade de *hoots* nos indivíduos em dois anos diferentes, como inferência para a fidelidade territorial.

keywords

Tawny Owl, *Strix aluco*, vocalizations, spectrograms, individual recognition

abstract

Birds vocalization present the potential to exhibit great individual variation based on the different behaviour development and maturation, even without disregarding the fisiological and morfological limitations that they are subjected to. Most stringiforms are territorial, keeping the same territory through years. They are distinctive for their long-range vocalization, a trait used to show the distinct individuality in some species, without resorting to invasive methods. With this essay, we pretend to contribute to amplify the knowledge about Stringiforms, particularly on tawny-owl. With that in mind, the goal was to distinguish several individuals, based on the spectrograms obtained after several recording of said specie. We collected 579 hoots, between 2010 and 2012, from which we selected 161 hoots, corresponding to 16 individuals, and considered 14 acoustic parameters. The samples were submitted to univariate and multivariate statistical analysis, which revealed high variability between individuals. Furthermore, the ANOVA test indicates that all vocal parameters have significant variance, more so the D1, I1, I2, FML and DTOT, according to the PCA test. The linear discriminant analysis (LDA) correctly classified 99.4% of the samples, 97.5% with cross-validation. These results reveal that tawny owl's hoots are very distinctive at individual level especially the temporal parameters I1, I2 and DTOT. In conjunction, a total of 7 couples vocalizations were submitted to an agglomerative cluster test to assess the gender of the specimens. With the vocal convergence between couples in mind, a Dunnett test was done, which appears to confirm this hypothesis based on the D2, I1, FML, LF and DHL parameters, yet more studies consolidating this matter are required. As for the vocal stability, LDA test showed 96.1 correct attributions, 90.9% with cross-validation, which indicates some variation but in general the hoots from a particular individual are similar on both years, inferring to territorial stability.

Índice

Índice de Figuras	iii
Índice de Tabelas	v
Lista de abreviaturas	vii
Capítulo I – Introdução Geral	1
1.1 Os serviços dos ecossistemas fornecidos pelas aves	1
1.2 As vocalizações nas aves: a importância e significado veiculados	3
1.3 Indicadores de qualidade individual e de território para as aves.....	6
1.4 Strigiformes em Portugal: uma revisão	8
1.5 A espécie alvo Coruja-do-mato, <i>Strix aluco</i>	10
1.6 Objetivos	13
1.7 Bibliografia	15
Capítulo II – A bioacústica: conceito, história e propriedades sonoras.....	21
2.1 A história da Bioacústica no contexto português	21
2.2. As propriedades e organização do som nas aves	21
2.2.1 Habitat e vocalizações	23
2.3. Interface da bioacústica e monitorização da biodiversidade.....	24
2.4 Bibliografia	27
Capítulo III – Reconhecimento individual na Coruja-do-mato (<i>Strix aluco</i>): análise bioacústica do canto territorial.....	31
3.1. O reconhecimento individual	31
3.1.1 Casos de estudos em Strigiformes.....	34
3.2 Fatores de influência da atividade vocal.....	35
3.3. Metodologia	37
3.3.1 Área de estudo	37
3.3.2. Recolha de dados.....	41
3.3.3. Análise acústica	46
3.3.4. Análise estatística	50
3.4 Resultados.....	54
3.4.1 Análise acústica	54
3.5 Discussão.....	86

3.5.1	Descrição geral da vocalização territorial	86
3.5.2	Fatores abióticos	87
3.5.3	Duetos vocais	88
3.5.4	A individualidade da vocalização.....	90
3.5.6	Fidelidade territorial	94
3.6	Considerações finais	97
3.6	Bibliografia	101
Anexo I - A individualidade acústica: uma abordagem em cativeiro.....		107
Anexo II - Ficha de campo		111
Anexo III - Códigos utilizados na quantificação das variáveis ambientais, adaptado de Takats <i>et al.</i> (2001)		113
Anexo IV - Interpretação e força dos valores de correlação (Fowler & Cohen, 1999)		115
Anexo V - Vocalizações na Coruja-do-mato		117
Anexo VI - Caso particular da vocalização territorial		119

Índice de Figuras

Figura 1. Número de estudos realizados em Portugal, sem obrigatoriedade de publicação, sobre aves de rapina noturnas, de 1991 a 2012 e a sua distribuição específica (SPEA, ISI Web of Knowledge e comunicação oral).	9
Figura 2. Ilustração representativa da espécie Coruja-do-mato (desenho de Valter Fernandes). ..	10
Figura 3. Localização da área de estudo.	37
Figura 4. Distribuição dos pontos de amostragem (n = 16) na área de estudo.	39
Figura 5. Registos fotográficos representativos dos territórios ocupados pela Coruja-do-mato na área de estudo. Um apontamento dos pontos (de cima para baixo): Mata da Cerca, Cativelos, S. Julião - Convento de S. Francisco, V.N. Tazem 4, Lagarinhos 5.	41
Figura 6. Registos fotográficos do material em execução de playback (esquerda) e em gravação da resposta das aves (direita).	44
Figura 7. Representação de vocalização da Coruja-do-mato assinalando os parâmetros temporais e as medidas de frequência consideradas.	47
Figura 8. Espectrograma ilustrativo da harmónica visível mais elevada (6ª harmónica).	55
Figura 9. Distribuição das vocalizações analisadas, em percentagem, nas condições de temperatura (esquerda) e fases da lua (direita).	59
Figura 10. Distribuição das vocalizações, em percentagem, nas condições de ruído e vento.	59
Figura 11. Cluster hierárquico dos indivíduos dos pares considerados (n pares = 7 e elementos com cores iguais representam indivíduos do mesmo casal).....	60
Figura 12. Sonograma ilustrativo das diferenças vocais presentes entre sexo (fêmea e macho). ..	60
Figura 13. Representação da análise de componentes principais (PCA) para os 7 casais com base nos parâmetros acústicos.	62
Figura 14. Cluster hierárquico do número total de indivíduos amostrados.	65
Figura 15. Representação da análise de componentes principais (PCA) para os 16 indivíduos com base nos parâmetros acústicos.	67
Figura 16. Representação dos coeficientes canónicos (cima) e coeficientes canónicos médios (baixo) nas duas primeiras funções discriminantes.....	71
Figura 17. Representação dos coeficientes canónicos nas duas primeiras funções discriminantes.	75
Figura 18. Representação dos coeficientes canónicos médios nas duas primeiras funções discriminantes.	76

Figura 19. Representação dos coeficientes canónicos (cima) e coeficientes canónicos médios (baixo) nas duas primeiras funções discriminantes (elipse vermelha assinala 2 territórios contíguos, onde 5 e 6 – MtC e 7 e 8 – MtR).....	83
Figura 20. Vista geral das instalações do CERVAS (Brandão 2009).	107
Figura 21. Representação esquemática da metodologia.....	108
Figura 22. Registo fotográfico de um espécime de Coruja-do-mato (esquerda) e câmara de recuperação (direita).	108
Figura 23. Vocalização de contato “kewick” do macho de resposta à vocalização territorial da fêmea.....	117
Figura 24. Vocalização de contacto “kewick” em destaque.	117
Figura 25. Vocalização de alarme.	118
Figura 26. “Bubbling-call” da Coruja-do-mato.	118
Figura 27. Sonogramas representativos da atípica vocalização territorial de um indivíduo de Folgosinho (cima – 2010 e baixo – 2012).....	119
Figura 28. Registo fotográfico do território em Folgosinho.	120

Índice de Tabelas

Tabela 1. Principais serviços dos ecossistemas prestados pelas aves [adaptado de Sekercioglu (2006)].....	1
Tabela 2. Ciclo Anual da coruja-do-mato [adaptado de Hardey et al (2009)].	13
Tabela 3. Potencialidades da gravação áudio na bioacústica (Obrist et al. 2010; Pijanowski et al. 2011).	25
Tabela 4. Número de artigos científicos resultantes da pesquisa com os termos “vocal individual recognition” ao longo do texto publicados até Setembro de 2012.	33
Tabela 5. Definições dos parâmetros mensurados pelo Avisoft.	46
Tabela 6. Parâmetros registrados para cada hooting analisado.	48
Tabela 7. Análise exploratória para os parâmetros da vocalização considerados na global amostra de hootings (n = 161).	56
Tabela 8. Média e coeficientes de variação dos parâmetros vocais para o total da população (n = 161).	57
Tabela 9. Correlação de Spearman para testar a influência dos fatores abióticos nos parâmetros acústicos da vocalização territorial da coruja-do-mato (a cinzento as correlações moderadas).	58
Tabela 10. Médias dos parâmetros acústicos para os machos e fêmeas	61
Tabela 11. Teste de Dunnett para a análise de comparações múltiplas aos parâmetros acústicos entre pares, tendo como grupo de controlo a fêmea de cada par comparada com todos os machos da amostra ($P=0,05$) (em destaque os parâmetros mais constantes em casais).	63
Tabela 12. Incidência dos parâmetros vocais mais representativos da hipotética homogeneidade da vocalização entre género, intra e extra-par (onde * indica que os parâmetros são significativamente diferentes, segundo o teste t).	64
Tabela 13. Variabilidade dentro de cada indivíduo e entre indivíduos (CV) e correspondente razão para os 14 parâmetros acústicos considerados.	65
Tabela 14. Análise de variância univariada para os 14 parâmetros acústicos selecionados.	66
Tabela 15. Coeficientes (loadings on factors) dos parâmetros acústicos extraídos pela PCA (considerados os coeficientes > 0,3).	68
Tabela 16. Significância dos parâmetros acústicos (variáveis) na discriminação entre os 16 indivíduos (grupos).	68
Tabela 17. Estatísticas do teste de seleção de funções discriminantes.....	69

Tabela 18. Coeficientes canônicos uniformizados e coeficientes estruturais para as variáveis consideráveis nas sete primeiras funções discriminantes.	70
Tabela 19. Nº total de <i>hoots</i> , nº <i>hoots</i> corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente (16 indivíduos).	72
Tabela 20. Nº total de <i>hoots</i> , nº <i>hoots</i> corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente (16 indivíduos) pelo método cross-validation.	73
Tabela 21. Significância das componentes principais na discriminação entre os 16 indivíduos.	73
Tabela 22. Estatísticas do teste de seleção de funções discriminantes.....	74
Tabela 23. Coeficientes canônicos uniformizados e coeficientes estruturais para as variáveis consideráveis nas sete primeiras funções discriminantes.	75
Tabela 24. Nº total de <i>hoots</i> , nº <i>hoots</i> corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente (16 indivíduos).	77
Tabela 25. Nº total de <i>hoots</i> , nº <i>hoots</i> corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente (16 indivíduos) pelo método cross-validation.	78
Tabela 26. Valores médios dos parâmetros acústicos em dois anos diferentes.....	79
Tabela 27. Teste de Kolmogorov-Smirnov para 2 anos diferentes ($p<0,01$).....	80
Tabela 28. Significância dos parâmetros acústicos (variáveis) na discriminação entre os 16 indivíduos (grupos).	80
Tabela 29. Estatísticas do teste de seleção de funções discriminantes.....	81
Tabela 30. Coeficientes canônicos uniformizados e coeficientes estruturais para as variáveis consideráveis nas sete primeiras funções discriminantes.	82
Tabela 31. Nº total de <i>hoots</i> , nº <i>hoots</i> corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente para o total da amostra (10 gravações).	84
Tabela 32. Nº total de <i>hoots</i> , nº <i>hoots</i> corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente para o total da amostra (10 gravações).	85

Lista de abreviaturas

D1	Duração da nota I
D2	Duração da nota II
D3	Duração da nota III
I1	Intervalo entre o final da nota I e início da nota II
I2	Intervalo entre o final da nota I e início da nota III
I3	Intervalo entre o final da nota II e início da nota III
FML	Duração da parte modulada da nota III
TAIL	Duração da vibração da nota III
DTOT	Duração total do <i>hoot</i>
FF	Frequência fundamental da nota I
HF	Frequência máxima da nota I
LF	Frequência mínima da nota I
DHL	Diferença entre HF e LF
DHLt	Diferença entre HF e LF da TAIL (nota III)
CERVAS	Centro de Recuperação e Vigilância de Animais Selvagens
CV	Coeficiente de variação
PCA	Análise de componentes principais
ANOVA	Análise de variância simples
DFA	Análise de função discriminante
LDA	Análise discriminante linear

Capítulo I – Introdução Geral

1.1 Os serviços dos ecossistemas fornecidos pelas aves

As aves são componentes, visual e acusticamente, conspícuas dos ecossistemas. Durante as últimas décadas alguns estudos (Holmes & Sturges 1975; Holmes 1990) têm analisado os papéis das aves em vários ecossistemas ao nível mundial. Este grupo, ao longo da teia trófica, exhibe as mais diversas funções, a saber de predadores, polinizadores, necrófagos, dispersores e consumidores de sementes e modeladores do ecossistema (engenheiros do ecossistema¹) (Jones et al. 1994; Sekercioglu 2006). Segundo a organização United Nations Millenium Ecosystem Assessment (2003 citado por Whelan et al. 2008) os principais serviços do ecossistema são categorizados em (a) serviços de provisão, (b) serviços de regulação, (c) serviços culturais e (d) serviços de suporte, sendo que as aves contribuem em todos os tipos de serviços.

Dada a relevância ecológica deste grupo (Tabela 1) é necessário identificar e rever as funções ecológicas e serviços deste vasto grupo de forma a delinear prioridades de investigação. Apesar da extensa literatura sobre algumas funções ecológicas (Nathan & Muller-Landau 2000), residem ainda lacunas importantes a colmatar no que respeita, aos necrófagos (Prakash et al. 2003) e aves de rapina (Preisser et al. 2005).

Tabela 1. Principais serviços dos ecossistemas prestados pelas aves [adaptado de Sekercioglu (2006)].

CATEGORIA	SERVIÇO	SERVIÇOS PRIMÁRIOS DOS ECOSISTEMAS - FUNÇÕES
Regulação	Dispersão de sementes	Frugívoros
	Polinização	Nectarívoros
	Controlo de pragas	Predadores de invertebrados e vertebrados
	Necrofagia	Necrófagos
Suporte	Deposição de nutrientes	Aves aquáticas
	Modelação do ecossistema	Escavadores de tocas e cavidades

¹ Engenheiros do ecossistema: organismos que direta ou indiretamente modulam a disponibilidade de recursos para outras espécies, causando mudanças físicas em materiais bióticos e abióticos (Jones et al. 2004).

Estudos recentes têm mostrado que as aves de rapina são importantes predadores de topo, especialmente quando são considerados aspetos indiretos como o controlo populacional de presas (Parrish et al. 2001). Os roedores são predominantes na dieta alimentar de aves de rapina, assim em situações de pragas agrícolas assumem-se como preponderantes na limitação indireta dos seus impactos (Brown et al. 1988; Abramsky et al. 2002). A influência dos predadores sobre as populações de presas pode ter efeitos indiretos, tais como a perceção do risco de predação tendo repercussões ao nível do comportamento das presas (Sodhi et al. 1990), da estabilização da dinâmica predador-presa (Ives & Dobson 1987 citado por Sekercioglu 2006) e conduzir a uma maior riqueza específica através da coexistência competitiva (Brown et al. 1988).

As aves de rapina de grande porte são mais sensíveis à perturbação, estando associado ao seu declínio populacional o impacto significativo do número e comportamento das populações presa, o que poderá conduzir a novas mudanças ao longo da cascata trófica (Brown & Kotler 2004). Poucos estudos têm avaliado diretamente os efeitos das aves de rapina como agentes de controlo dos Rodentia. Como exemplo desse esforço, Wood & Fee (2003) aplicaram medidas de controlo de roedores em paisagens agrícolas na Malásia, com recurso à colocação de caixas-ninho para potenciar o aumento da população de Coruja-das-Torres (*Tyto alba*), todavia os resultados são inconsistentes e não permitem afirmar a ocorrência de controlo biológico com base na relação predador-presa. Por sua vez, com espécies de hábitos diurnos (e. g. *Falco sparverius*) verificou-se um decréscimo na taxa de crescimento populacional de roedores em ambiente agrícola, sucesso conseguido pela implementação de poleiros junto às áreas de cultivo (Kay et al. 1994). Por sua vez, foram encontradas evidências da flutuação do número de pares reprodutores em função da densidade de *Microtus* na primavera, para as seguintes espécies: Peneireiro-vulgar (*Falco tinnunculus*), Coruja-do-nabal (*Asio flammeus*) e Bufo-pequeno (*Asio otus*) (Kay et al. 1994). Tais resultados sugerem o potencial para a regulação de roedores por aves de rapina neste sistema.

Várias medidas de gestão podem ser tomadas para, expectavelmente, aumentar a eficácia do controlo de pragas por predadores, em paisagens naturais e agrícolas, a saber,

a implementação de caixa-ninho, de plataformas e/ou poleiros para aumentar as oportunidades de nidificação impulsionando assim as populações reprodutoras (Van Maanen et al. 2001; Whelan et al. 2008).

1.2 As vocalizações nas aves: a importância e significado veiculados

A comunicação é considerada um dos mais importantes comportamentos que subjaz os principais aspetos da vida animal (Hauser 1996), podendo ser definida, genericamente, como o processo pelo qual os indivíduos utilizam sinais concebidos para modificar o comportamento de outros (Krebs & Davies 1993). A vocalização é um meio de veiculação da comunicação entre conspecíficos e heteroespecíficos e pode transmitir informação desde a identificação a interações de disputa. Os sinais vocais utilizados pelas aves representam um dos sistemas conhecidos de comunicação mais sofisticados (Rowell & Servedio 2012).

O canto das aves terá provavelmente evoluído através da seleção sexual, inter-sexual e intra-sexual e, pode ser definido funcionalmente como veículo de atração e estimulação da fêmea e expressão de territorialidade pela repulsão de rivais competindo pelos mesmos recursos (Catchpole & Slater 2003; Mota & Depraz 2004). As duas funções predominantes das vocalizações das aves podem centrar-se na função territorial, onde os sons emitidos atuam como manifestação territorial, e como primeira linha de defesa (Cachpole & Slater 1995). A variação na resposta dada por um macho ao desafio de um intruso próximo do seu território reflete os custos a que cada um está disposto a incorrer na defesa do seu território (Lambrechts 1992). Neste sentido, poder-se-á considerar a vocalização como uma medida honesta da qualidade e habilidade competitiva do indivíduo (Lambrechts 1992) e ainda pode ser indicativa da qualidade dos recursos defendidos, cujo valor deverá ser superior aos custos despendidos na defesa (Krebs & Davies 1993). A intensidade da defesa territorial poderá assumir-se como um fator relevante para a fêmea, quanto à avaliação do potencial macho, devendo revelar as qualidades físicas e fisiológicas do macho e ainda implicar benefícios através de uma eficiente defesa dos recursos (Lambrechts 1992).

Na discussão da teoria da seleção sexual, os modelos genéticos, sendo frequentemente designados de modelo de “bons genes” sugerem que a variação do canto entre machos reflete a sua qualidade ou a do território, e a fêmea aumenta diretamente a sua *fitness* escolhendo um macho ou um território superior. Concretamente, o ato de vocalizar poderá implicar um grande gasto de energia dado que diminui o tempo despendido noutras atividades diárias relevantes, além de poder indicar a localização do emissor para potenciais predadores. Neste sentido, se o canto apresentar plasticidade e se os custos associados variarem entre indivíduos diferentes, vocalizar deverá contribuir para evidenciar a capacidade de suster estes custos, facultando informações sobre qualidades que assegurem a sobrevivência, como a defesa de recursos e sucesso reprodutor elevado (Nur & Hasson, 1984 citado por Reid 1987). A presente teoria, baseada na transmissão honesta de informação, é hoje amplamente aceite, tendo encontrado suporte em diversos ensaios de bioacústica em aves (Hoi-Leitner et al. 1995; Galeotti et al. 1997).

Relativamente às taxas de canto, estudos com passeriformes têm evidenciado que a variação encontrada reflete aspetos individuais, de defesa de recursos e do território, afetando, conseqüentemente, a escolha da fêmea (Reid 1987; Hofstad et al. 2002). Alguns autores revelaram relações entre a taxa do canto e parâmetros de qualidade individual e do território, a saber, a capacidade de conferir bons cuidados parentais (Van Duyse et al. 2002), informações acerca do estado imunológico (Steckler & Conway 2012), bons locais de nidificação (Hoi-Leitner et al. 1995) e disponibilidade alimentar (Ritschard & Brumm 2012).

Um dos aspetos mais salientes nas interações vocais e que tem suscitado interesse científico é a interação temporal entre as vocalizações dos machos intervenientes. Como metodologia têm-se recorrido às experiências de *playback*, por outras palavras com recurso a esquemas de emissão da vocalização conspécífica. O comportamento vocal dos indivíduos pode expressar-se na vocalização simultânea, na resposta coordenada alternadamente ou por sobreposição da sua vocalização à do rival. Este último comportamento, o *overlapping*, tem sido largamente referido na literatura elevando o seu valor funcional. Por exemplo, em passeriformes verificou-se que a sobreposição

poderá sinalizar ameaça, agressão, excitação, defesa, refletindo o estatuto do macho representado (Dabelsteen et al. 1997).

Os animais (as aves não são exceção) têm evidenciado excelentes valências de reconhecimento e poder de discriminação entre conspecíficos a vários níveis de organização social (Colgan 1983 citado por Cumbinho 2002). Do ponto de vista da comunicação, esta distinção resulta da presença ou ausência de determinados atributos vocais, ou perante uma maior variabilidade entre classes de conspecíficos comparativamente à variação dentro das classes. Um dos sistemas de reconhecimento mais estudados é o reconhecimento de vizinhos em espécies territoriais. Os indivíduos territoriais manifestam, frequentemente, níveis reduzidos de agressividade face a conspecíficos vizinhos por eles conhecidos em comparação com indivíduos estranhos, que transportam uma ameaça maior à manutenção do território e da fêmea. Esta discriminação vizinho/estranho é denominada de efeito “*dear enemy*” (Fisher 1954 citado por Cacthpole & Slater 1995) terá como base a acumulação de informação sobre uma ave vizinha mediante encontros sucessivos, o que faz alimentar a possibilidade dos indivíduos respeitarem as hierarquias. A redução dos níveis de agressividade permite uma otimização de tempo e energia evitando-se interações agressivas sucessivas que podem colocar em risco a sobrevivência dos indivíduos (Cacthpole & Slater 1995). A discriminação vizinho/estranho encontra-se bem documentada em passeriformes (Stoddard 1996; Skierczynski et al. 2007; Briefer et al. 2008; Wei et al. 2011) e com algumas referências no grupo das aves de rapina noturnas (Galeotti & Pavan 1993; Chumbinho 2002; Hardouin et al. 2006; Odom & Mennill 2010).

As vocalizações das aves apresentam a potencialidade para exibir uma considerável variabilidade individual baseada nas diferenças de desenvolvimento comportamental e de maturação (Gilbert et al. 1994), não obstante as limitações fisiológicas e morfológicas a que estão sujeitas. Além da capacidade de discriminação dos indivíduos entre si, a existência de diferenças marcadas nas vocalizações de várias espécies pode ser utilizada como método de identificação individual pelo corpo científico. Assim, a individualidade vocal assume-se como uma característica utilizada como método de censo e de

monitorização das espécies, revestindo-se de grande interesse no estudo de espécies raras, sensíveis e inacessíveis, sem recurso de métodos invasivos (Terry et al. 2005).

No caso das aves de rapina, e particularmente nas noturnas, as vocalizações da maioria das espécies sugerem uma elevada estereotipia dentro da população, comparativamente aos vastos repertórios assistidos nos passeriformes (Galeotti et al. 1993). Todavia, as vocalizações de várias espécies de rapinas podem ser funcionalmente equivalentes às dos passeriformes, transportando uma dupla função de atração/estimulação da fêmea e repulsão de oponentes conspecíficos (Galeotti & Pavan 1993; Appleby et al. 1999). Um estudo de Galeotti (1998) demonstrou que na Coruja-do-mato (*Strix aluco*) a taxa de emissão da vocalização dos machos indica aspetos do potencial competitivo, enquanto a duração a amplitude de frequência das notas estão associadas ao sucesso reprodutor e estabilidade de territórios. Há, ainda algumas evidências de que as características do habitat poderão ser fatores de influência na estrutura das vocalizações, como sugerido no caso da Coruja-do-mato (Appleby & Redpath 1997).

Na maioria das aves de rapina, o sistema altamente territorial e monogâmico revela a importância da estabilidade nas vocalizações individuais ao longo das diferentes épocas e do reconhecimento acústico de conspecíficos (Galeotti et al. 1993). Tais aspetos deverão contribuir para uma elevada eficiência, uma vez que são minimizados os gastos de tempo e energia em interações com os vizinhos. Ainda, o conhecimento e familiaridade com os conspecíficos próximos pode ser uma mais-valia em espécies noturnas e/ou crepusculares, facilitando a sua atividade quando as informações visuais são escassas.

1.3 Indicadores de qualidade individual e de território para as aves

O conceito de qualidade individual foi inicialmente proposto para enfatizar o facto de que nem todos os indivíduos numa população são iguais (Coulson 1968 citado por Carrete et al. 2006).

As medidas aplicadas na avaliação da qualidade individual são, comumente, a idade, o tamanho corporal e o índice de condição corporal (e.g. Carrete et al. 2006). O tamanho corporal de uma ave, ditado por processos metabólicos, deverá influir no desempenho

individual ao nível da caça e/ou defesa do território, afetando também o estatuto social do indivíduo (Krebs & Davies 1993).

A idade, bem como o sedentarismo no contexto do território, atribuem maior experiência ao macho adulto e melhor avaliação dos recursos alimentares face a um sub-adulto. Assim, indivíduos mais jovens são usualmente menos produtivos que os adultos, com menor capacidade reprodutora que poderá ser reflexo da ocupação de piores territórios e não somente do fator inexperiência (Pärt 2001; Carrete et al. 2006).

Os cuidados parentais para a maioria das aves de rapina, concretamente o esforço investido dos machos, são essenciais para o sucesso reprodutor. Tais cuidados traduzem-se na participação na alimentação e defesa das crias, na emissão de vocalizações de alarme e em comportamentos que afastam potenciais predadores das crias (Cramp 1985). Todavia o sucesso reprodutivo pode ser interpretado como bom desempenho do indivíduo – *fitness*, ou como fruto de um bom território com elevada disponibilidade alimentar (Pärt 2001).

A presença de parasitas, seja interna ou externamente, pode assumir-se como um fator da diminuição da qualidade individual, acarretando o desenvolvimento de anemia e no possível comprometimento de outras funções em detrimento do investimento na função imunológica (Tomé et al. 2005; Ishak et al. 2008).

A seleção de habitat dentro da área geográfica ocupada por uma espécie pode indicar a adaptação às diferentes pressões seletivas do meio, preferindo as que são mais favoráveis aos seus hábitos alimentares e comportamento reprodutor (Cody 1985; Jones 2001).

A qualidade do território é um dos principais determinantes da *fitness* do indivíduo contudo o seu efeito pode ser erradamente interpretado como sendo um aspeto da qualidade individual. Estudos, em considerável número, têm evidenciado o efeito da qualidade do território nos diferentes componentes da *fitness*, tais como, sobrevivência, reprodução, recrutamento e sucesso reprodutivo (Korpimäki 1988; Pärt 2001; Hakkarainen et al. 2008).

A seleção do local de nidificação é intrínseca à qualidade e seleção do território e em resultado da sua implicação na reprodução e sobrevivência dos indivíduos é apontada

como um dos critérios mais relevantes, senão o mais, na escolha de um parceiro em muitas espécies (Alatalo et al. 1984). A predação de ninhos assume-se como uma das principais causas de insucesso reprodutor nas aves, *sensu lato* (Cody 1985). A nidificação em cavidades, como no caso da Coruja-do-mato e outras aves de rapina noturnas, é vista como estrategicamente vantajosa, dado que confere proteção à fêmea em incubação e às crias de eventuais predadores e dos fatores abióticos, todavia há registos de predação (von Haartman 1957 citado por Chumbinho 2002). Neste sentido, variáveis como a dimensão e altura da cavidade, bem como as características da vegetação circundante devem assumir um importante papel no sucesso reprodutor (Belthoff & Ritchison 1990), podendo determinar a densidade populacional de espécies, incluindo alguns Strigiformes (von Haartman 1957 citado por Chumbinho 2002).

A disponibilidade alimentar é um dos aspetos marcantes na escolha de território e, concretamente no caso das aves de rapina, é dependente da densidade de presas e da acessibilidade e heterogeneidade do habitat (altura e tipo de vegetação, percentagem do coberto vegetal), assim como o tempo e energia despendidos na predação. Segundo Galeotti (1994) a Coruja-do-mato parece evidenciar o efeito da estrutura do habitat no tamanho do território defendido, excluindo a hipótese do estabelecimento de territórios com base, essencialmente, nos indícios diretos de disponibilidade alimentar. Outro aspeto altamente influente é o número de vizinhos conspecíficos em associação ao tamanho do território, assim a pressão competitiva e os custos de defesa implicados poderão determinar a área territorial, sendo maior em situações de abundância de recursos. Como exemplo, em populações urbanas de Coruja-do-mato a distância ao vizinho mais próximo pode ser um fator saliente na defesa territorial da espécie (Galeotti 1994).

1.4 Strigiformes em Portugal: uma revisão

As aves de rapina noturnas, devido aos seus hábitos discretos, crepusculares e principalmente noturnos, representam um dos grupos de aves mais difíceis de estudar (Proudfoot & Beasom 1996). Para colmatar a escassez de informação respeitante ao grupo têm-se desenvolvido, em Portugal, ao longo das últimas duas décadas (Figura 1),

um esforço de estudo, por exemplo, na ecologia da Coruja-das-Torres (*Tyto alba*) (Tomé et al. 2001; Roque 2003) na distribuição do Bufo-real (*Bubo bubo*) e Strigiformes em geral (Lourenço 2000; Lourenço et al. 2002) no sucesso reprodutivo, na dieta e prevalência de parasitas no Mocho-galego (*Athene noctua*) (Tomé et al. 2005; Tomé et al. 2008), em âmbitos agrícola e florestal das aves de rapina noturnas na Serra da Estrela (Aguiar 2009; Lopes 2009) e ainda, uma abordagem sobre a etologia do grupo como ferramenta para o enriquecimento ambiental (Silva 2010). A Figura 1 ilustra a distribuição de estudos em aves de rapina noturnas desde o início da década de 90 até à atualidade, verificando-se uma maior incidência na espécie Coruja-das-torres (*Tyto alba*) como foco de investigação. De salientar, que na Coruja-do-mato, não há registo de estudos singularmente centrados na espécie, daí emergir a pertinência da investigação com esta residente florestal.

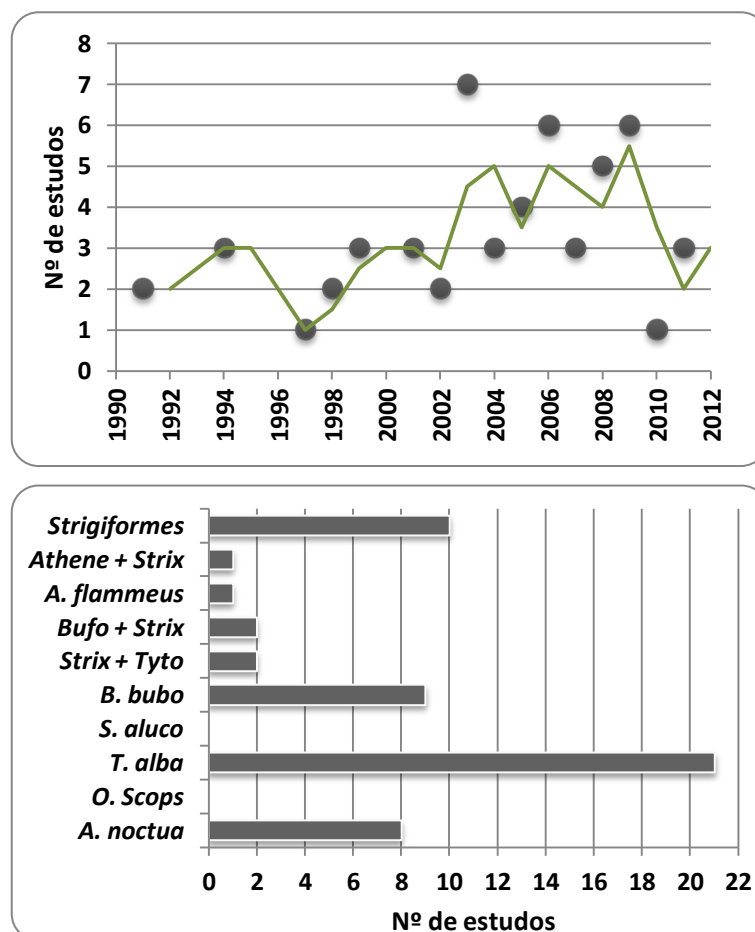


Figura 1. Número de estudos realizados em Portugal, sem obrigatoriedade de publicação, sobre aves de rapina noturnas, de 1991 a 2012 e a sua distribuição específica (SPEA, ISI Web of Knowledge e comunicação oral).

1.5 A espécie alvo Coruja-do-mato, *Strix aluco*

A Coruja-do-mato (*Strix aluco* Linnaeus, 1758) é uma ave de médio porte (37-39cm; envergadura 94-104cm; 420-520g), de forma compacta, cabeça arredondada, olhos escuros (Figura 2) e plumagem castanho-ferrugíneo (“rufous morph”) ou castanho-acinzentada (“grey morph”) (Cramp 1985). Galeotti (2001), para a Inglaterra estimou a proporção relativa de 55% do morfótipo *rufous*, 39% do cinzento e 6% de plumagem intermédia. Anteriormente, Cramp (1985) reportou 65% da população como *rufous*, 30% de coloração intermédia e, por fim, 13% para o morfótipo cinzento. A sua coloração é independente da idade e sexo mas está relacionada com o clima, assim em zonas quentes predomina a variação castanha-avermelhada e em áreas frias e secas prevalecem as de tom acinzentado (Galeotti & Cesaris 1996).



Figura 2. Ilustração representativa da espécie Coruja-do-mato (desenho de Valter Fernandes).

As fêmeas são maiores que os machos, no entanto, não é possível distinguir os sexos abordando apenas a análise fisiológica, portanto não apresenta dimorfismo sexual (Hardey et al. 2009). A pesagem normal rondará os 320-470g para os machos e 390-575g para fêmeas. Assim as fêmeas de Coruja-do-mato são, em média, 26.2% mais pesadas e possuem 4.3% mais envergadura de asas do que os machos conspecíficos (Hardy et al 1981 citado por Coles 2002). Os machos podem ser vocalmente distinguidos pelo seu *hooting* puro, ao qual as fêmeas, frequentemente respondem com a forma dissilábica “Kewick” (Cramp 1985; Redpath 1995), podendo ser usada como chamamento de contato pelos dois sexos (Cramp 1985). Todavia as fêmeas podem emitir vocalizações semelhantes à dos machos, mas em tom mais rouco, rude, com notas menos claras e com maior carácter ululante na terceira nota comparativamente aos machos (Mikkola 1983; Galeotti 1998), que é caracterizada por um nítido vibrato com uma queda em altura (Galeotti 1998).

A sensibilidade auditiva dos Strigiformes é bem conhecida, a elevada eficiência na localização do som e aferição de distâncias, deve-se provavelmente à complexidade e assimetria das estruturas auditivas, permitindo às corujas capturar presas na total escuridão (Martin 1990).

É a ave de rapina noturna mais comum na Europa e distribui-se amplamente com exceção no norte da Escandinávia (Cramp 1985). Em Portugal encontra-se a sub-espécie *S. aluco sylvatica* e aparenta ser menos frequente no norte do país (Equipa Atlas 2008). Ave essencialmente florestal de folhosas e mistas de folhosas e resinosas (Salvati et al. 2002) podendo ocorrer em florestas de resinosas, junto a área agrícolas e em parques urbanos (Cramp 1985). Também pode ocorrer em áreas abertas que possuam algum coberto vegetal, como por exemplo terrenos agrícolas com pequenos bosque (Hardey et al. 2009). Esta espécie ocupa áreas de vida relativamente exclusivas ao longo de todo o ano e é fortemente territorial. Uma vez estabelecido o par defendem o território ao longo do ano, sendo o tamanho variável como o tipo de habitat, geralmente mais reduzido em florestas densas. Vários estudos têm estimado o tamanho dos territórios em cerca de 65

ha em florestas caducifólias aumento para 545 ha em bosques de coníferas e em áreas abertas (Mikkola 1983; Cramp 1985; Coles 2002) .

Ao nível da ecologia alimentar é considerada um predador generalista, captura principalmente micromamíferos, mas também anfíbios, répteis e aves (Cramp 1985). É uma ave de hábitos predominantemente noturnos, caçando com maior frequência entre o ocaso e a aurora. A Coruja-do-mato não constrói ninhos, alternativamente a fêmea escava um pouco em substratos macios, não incorporando nenhum material externo na cavidade. Para revestimento do ninho são mantidas as egagrópilas antigas. Nidifica maioritariamente em cavidades de árvores, mas também em fragas e em cavidades de edifícios, e ocasionalmente em caixas-ninho. Pode ocupar ninhos de outras espécies como, por exemplo, corvo (*Corvus corax*), pega-rabuda (*Pica pica*), gavião (*Accipiter nisus*), águia-de-asa-redonda (*Buteo buteo*), gaio (*Garrulus glandarius*) e de pombo-torcaz (*Columba palumbus*) (Mikkola 1983). A espécie é caracterizada por uma postura de 1 – 6 ovos, usualmente 2-3 e excecionalmente 8, pondo um ovo em intervalos de 48 horas (Mikkola 1983), esta variação é resultante da abundância de alimento pré-postura.

Encontra-se em maior abundância a baixas e médias altitudes e em climas temperados (Cramp 1985; Redpath 1995). Espécie residente e sedentária, com um sistema de acasalamento monogâmico e bastante territorial. Os indivíduos podem reproduzir-se logo no primeiro ano de vida, mas é mais frequente que tal suceda no segundo ou terceiro anos, permanecendo a ligação entre o par ao longo do ano e por vários anos, assegurando a fidelidade ao território e secundariamente ao parceiro (Cramp 1985). A época de reprodução inicia-se em finais de Fevereiro e estende-se até meados de Maio (Cramp 1985) (Tabela 2). A população europeia é estimada em 360 000 – 680 000 casais, cujos dados apontam para a estabilidade da população e em Portugal cerca 1 000 – 10 000 pares estabelecidos (Equipa Atlas 2008).

A fragmentação do habitat (Redpath 1995), a caça ilegal, a pilhagem e as colisões com automóveis representam os principais fatores de ameaça, contudo, o estatuto de conservação da espécie é pouco preocupante (Cabral *et al.*, 2005).

Entende-se como essencial a realização de estudos aprofundados que permitam ampliar o conhecimento sobre a Coruja-do-mato, objetivando não só a preservação da espécie como do habitat que ocupa.

Tabela 2. Ciclo Anual da Coruja-do-mato [adaptado de Hardey et al (2009)].

Atividade reprodutiva	Período de pico	Amplitude	Duração (dias)
Ocupação da área vital		Todo o ano	
Resposta territorial	Outubro - Dezembro	Agosto - Abril	
Corte	Março	Dezembro - Abril	
Postura	Meados de Março - início de Abril	Fevereiro - meados de Abril	2 a 4
Incubação	Meados de Março - início de Maio	Fevereiro - meados de Maio	28 a 30
Eclosão	Meados de Abril - final de Maio	Março - meados de Maio	
Presença de juvenis no ninho	Meados de Abril - final de Maio	Meados de Abril - final de Junho	
<i>Fledging</i>	Meados de Maio - meados de Junho	Abril - Final de Junho	28 a 37 dias de idade
Dispersão de juvenis		Julho - final de Setembro	

1.6 Objetivos

A relevância da comunicação vocal para as aves é inegável, sendo o seu estudo de especial interesse para as aves de rapina noturnas, dado os seus hábitos. Concretamente, na Coruja-do-mato, embora sendo uma espécie com uma distribuição abundante poucos são os estudos direccionados para a sua etologia vocal. No contexto português, até mesmo ao nível da sua ecologia os dados são escassos. Assim, pretendeu-se validar os seguintes objetivos:

- Descrever a vocalização territorial para a Coruja-do-mato;
- Averiguar a variabilidade intra-individual *versus* variabilidade inter-individual com base em parâmetros temporais e medições de frequência;
- Conhecer o poder discriminatório inerente à vocalização territorial;

- Efetuar o reconhecimento individual em espécimes de Coruja-do-mato;
- Utilizar a individualidade na vocalização da espécie para:
 - verificação da fidelidade de território
 - validação de censos, decorrente de um estudo de (Aguilar 2009)
- Testar a convergência vocal em elementos do mesmo par, com base em eventos de duetos vocais
 - referir o papel ativo e altamente plástico da fêmea na defesa territorial

1.7 Bibliografia

- Abramsky Z, Rosenzweig M, Subach A (2002) The costs of apprehensive foraging. *Ecology* 83:1330–1340.
- Aguiar A (2009) Populações de *Strix aluco* e *Otus scops* em áreas agro-florestais. Universidade de Aveiro.
- Alatalo R, Lundberg A, Ståhlbrandt K (1984) Female Mate Choice in the Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca*. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 14(4):253-261.
- Appleby BM, Redpath SM (1997) Variation in the male territorial hoot of the *Tawny Owl* *Strix aluco* in three English populations. *Ibis* 139:152-158.
- Appleby BM, Yamaguchi N, Johnson PJ, Macdonald DW (1999) Sex-specific territorial responses in *Tawny Owls* *Strix aluco*. *Ibis* 141:91-99.
- Equipa Altas (2008) Atlas das Aves Nidificantes em Portugal (1999-2005). Instituto da Conservação e da Biodiversidade, Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves, Parque Natural da Madeira e Secretaria Regional do Ambiente e do Mar. Assírio e Alvim, Lisboa.
- Belthoff J, Ritchison G (1990) Nest-site selection by Eastern Screech-Owls in Central Kentucky. *The Condor* 92:982-990.
- Briefer E, Aubin T, Lehongre K, Rybak F (2008) How to identify dear enemies: the group signature in the complex song of the skylark *Alauda arvensis*. *Journal of Experimental Biology* 211:317-326.
- Brown J, Kotler B, Smith R, Wirtz II W (1988) The effects of owl predation on the foraging behavior of heteromyid rodents. *Oecologia* 76:408–415.
- Brown JS, Kotler BP (2004) Hazardous duty pay and the foraging cost of predation. *Ecology Letters* 7:999-1014.
- Catchpole C, Slater P (1995) Bird song: Themes and variation. Cambridge University Press, Cambridge.
- Carrete M, A. Sánchez-Zapata J, L. Tella J, M. Gil-Sánchez J, Moleón M (2006) Components of breeding performance in two competing species: habitat heterogeneity, individual quality and density-dependence. *Oikos* 112:680-690.
- Catchpole CK, Slater PJB (2003) Bird Song: Biological Themes and Variations. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Chumbinho A (2002) O Canto Territorial do Mocho-galego (*Athene noctua*): Caracterização, Individualidade e Defesa do Território. Instituto Superior de Psicologia Aplicada.
- Cody M (1985) Habitat selection in birds. Academic Press, San Diego.
- Coles CF (2002) Breeding, survival, movements and foraging of tawny owls *strix aluco* in a managed spruce forest: a spatial approach. Durham University, Durham theses.
- Cramp S (1985) Handbook of the Birds of Europe the Middle East and North Africa. The Birds of the Western Palearctic Vol. IV, Terns to Woodpeckers. Oxford University Press, Oxford.

- Dabelsteen T, McGregor PK, Holland J, Tobias JA, Pedersen SBOEL (1997) The signal function of overlapping singing in male robins. *Animal Behaviour* 53:249-256.
- Galeotti P, Paladin M, Pavan G (1993) Individually distinct hooting in male pygmy owls *Glaucidium Passerinum* – a multivariate approach. *Ornis Scandinavica* 24:15-20.
- Galeotti P, Pavan G (1993) Differential responses of territorial Tawny Owls *Strix aluco* to the hooting of neighbours and strangers. *Ibis* 135:300-304.
- Galeotti P (1994) Patterns of territory size and defence level in rural and urban tawny owl (*Strix aluco*) populations. *Journal of Zoology* 234:641-658.
- Galeotti P, Cesaris C (1996) Rufous and grey colour morphs in the Italia Tawny Owl: geographical and environmental influences. *Journal of Avian Biology* 27:15-20.
- Galeotti P, Saino N, Sacchi R, MØLLER AP (1997) Song correlates with social context, testosterone and body condition in male barn swallows. *Animal Behaviour* 53:687-700.
- Galeotti P (1998) Correlates of hoot rate and structure in male Tawny Owls *Strix aluco*: implications for male rivalry and female mate choice. *Journal of Avian Biology* 29 (1): 25-32.
- Galeotti P (2001) Tawny owl, *Strix aluco*. BWP Update Vol. 3 No.1: 43-77. *BWP Update* 3:43-77.
- Gilbert G, McGregor PK, Tyler G (1994) Vocal individuality as census tool – practical considerations illustrated by a study of 2 rare species. *Journal of Field Ornithology* 65:335-348.
- Hakkarainen H, Korpimäki E, Laaksonen T, Nikula A, Suorsa P (2008) Survival of male Tengmalm's owls increases with cover of old forest in their territory. *Oecologia* 155:479-486.
- Hardey J, Crick H, Wernham C, Riley H, Etheridge B, Thompson D (2009) Raptors: A Field Guide For Surveys and Monitoring. Stationery Office, Scotland.
- Hardouin LA, Tabel P, Bretagnolle V (2006) Neighbour–stranger discrimination in the little owl, *Athene noctua*. *Animal Behaviour* 72:105-112.
- Hauser MD (1996) The evolution of communication. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Hofstad E, Espmark Y, Moksnes A, Haugan T, Ingebrigtsen M (2002) The relationship between song performance and male quality in snow buntings (*Plectrophenax nivalis*). *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 80:524-531.
- Hoi-Leitner M, Nechtelberger H, Hoi H (1995) Song rate as a signal for nest site quality in blackcaps (*Sylvia atricapilla*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 37:399-405.
- Holmes R (1990) Ecological and evolutionary impacts of predation on forest insects: an overview. *Studies Avian Biology* 13:6-13.
- Holmes RT, Sturges FW (1975) Bird Community Dynamics and Energetics in a Northern Hardwoods Ecosystem. *Journal of Animal Ecology* 44:175-200.
- Ishak HD, Dumbacher JP, Anderson NL, Keane JJ, Valkiūnas G, Haig SM, Tell LA, Sehgal RNM (2008) Blood Parasites in Owls with Conservation Implications for the Spotted Owl (*Strix occidentalis*). *PLoS ONE* 3:e2304.

- Jones C, Lawton J, Shachak M (1994) Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69:373-386.
- Jones J (2001) Habitat Selection Studies in Avian Ecology: A Critical Review. *The Auk* 118:557-562.
- Kay B, Twigg L, Korn T, Nicol H (1994) The use of artificial perches to increase predation on house mice (*Mus domesticus*) by raptors. *Wildlife Research* 21:95-105.
- Korpimäki E (1988) Effects of territory quality on occupancy, breeding performance and breeding dispersal in Tengmalm's owl. *Journal of Animal Ecology* 57: 97-108.
- Krebs J, Davies N (1993) An introduction to Behavioural Ecology. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Lambrechts M (1992) Male quality and playback in the great tit. In McGregor P (Eds.) Playback and studies of animal communication. Plenum Press, New York. 135-152 pp.
- Lopes L (2009) Distribuição e ecologia de *A. noctua* e *T. alba* em zonas rurais. Universidade de Aveiro.
- Lourenço R (2000) Distribuição, situação populacional e ecologia trófica do Bufo-real (*Bubo bubo* Linnaeus, 1758) no Nordeste Algarvio. FCUL, Lisboa.
- Lourenço R, Basto M, Cangarato R, Álvaro M, Oliveira V, Coelho S, Pais M (2002) The Owl (Order Strigiformes) Assemblage in the North-eastern Algarve. *Airo* 12.
- Martin G (1990) Birds by Night. London: T. & A. D.Poyser.
- Mikkola H (1983) Owls of Europe. T. & A.D. Poyser, Calton.
- Mota PG, Depraz V (2004) A Test of the Effect of Male Song on Female Nesting Behaviour in the Serin (*Serinus serinus*): a Field Playback Experiment. *Ethology* 110:841-850.
- Nathan R, Muller-Landau HC (2000) Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends in Ecology & Evolution* 15:278-285.
- Odom KJ, Mennill DJ (2010) Vocal duets in a nonpasserine: an examination of territory defence and neighbour-stranger discrimination in a neighbourhood of barred owls. *Behaviour* 147:619-639.
- Parrish JK, Marvier M, Paine RT (2001) Direct and indirect effects: interactions between bald eagles and common murrelets. *Ecological Applications* 11:1858-1869.
- Pärt T (2001) Experimental evidence of environmental effects on age-specific reproductive success: the importance of resource quality. *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* 268:2267-2271.
- Prakash V, Pain D, Cunningham A, Donald P, Prakash N, Verma A, Gargi R, Sivakumar S (2003) Catastrophic collapse of Indian white-backed *Gyps bengalensis* and long-billed *Gyps indicus* vulture populations. *Biology Conservation* 109:381-390.
- Preisser E, Bolnick D, Benard M (2005) Scared to death? The effects of intimidation and consumption in predator-prey interactions. *Ecology* 86:501-509.

Proudfoot G, Beasom S (1996) Responseviness of cactus ferrugineus pygmy-owls to broadcasted conspecifics calls *Wildlife Society Bulletin* 24:294-297.

Redpath S (1995) Habitat fragmentation and the individual: Tawny Owls *Strix aluco* in woodland patches. *Journal of Animal Ecology* 64:652-611.

Reid M (1987) Costliness and reliability in the singing vigour of Ipswich sparrows. *Animal Behaviour* 35:1735-1743.

Ritschard M, Brumm H (2012) Zebra finch song reflects current food availability. *Evolutionary Ecology* 26:801-812.

Roque I (2003) A população de Coruja-das-torres *Tyto alba* (Scopoli, 1769) no concelho de Coruche: abundância e distribuição, selecção de habitat, biologia de reprodução, alimentação e mortalidade. Universidade de Évora.

Rowell JT, Servedio MR (2012) Vocal Communications and the Maintenance of Population Specific Songs in a Contact Zone. *PLoS ONE* 7:e35257.

Salvati L, Manganaro A, Ranazzi L (2002) Wood quality and the Tawny Owl *Strix aluco* in different forest types of central Italy. *Ornis Svecica* 12:47-51.

Sekercioglu CH (2006) Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in Ecology & Evolution* 21:464-471.

Silva R (2010) Enriquecimento Ambiental e Observação Etológica de Aves de Rapina Nocturnas (Strigiformes). Universidade de Aveiro.

Skierczynski M, Czarnecka KM, Osiejuk TS (2007) Neighbour-stranger song discrimination in territorial ortolan bunting *Emberiza hortulana* males. *Journal of Avian Biology* 38:415-420.

Sodhi NS, Didiuk A, Oliphant LW (1990) Differences in bird abundance in relation to proximity of Merlin nests. *Canadian Journal of Zoology* 68:852-854.

Steckler SE, Conway CJ (2012) Frequent vocalizing is negatively associated with brood parasitism in a host of the brow-head cowbird. *Condor* 114:219-226.

Stoddard P (1996) Vocal recognition of neighbors by territorial passerines. In Kroodsma D, Miller E (Eds.) *Ecology and Evolution of Acoustic Communication in Birds*. Cornell University Press, Ithacapp.

Terry A, Peake T, McGregor P (2005) The role of vocal individuality in conservation. *Frontiers in Zoology* 2:10.

Tomé R, Valkama J, (2001) Seasonal variation in the abundance and habitat use of Barn Owl *Tyto alba* on lowland farmland. *Ornis Fennica* 78 78:109-118.

Tomé R, Santos N, Cardia P, Ferrand N, Korpimäki E (2005) Factores affecting the prevalence of blood parasites of the Little Owl *Athene noctua* in southern Sportugal *Ornis Fennica* 82:63-72.

Tomé R, Catry P, Bloise C, Korpimäki E (2008) Breeding density and success, and diet composition of Little Owls *Athene noctua* in steppe-like habitats in Portugal. *Ornis Fennica* 85:22-32.

Van Duyse E, Pinxten R, Eens M (2002) Effects of testosterone on song, aggression, and nestling feeding behavior in male great tits, *Parus major*. *Hormones and Behavior* 41:178-186.

Van Maanen E, Goradze I, Gavashelishvili A, Goradze R (2001) Trapping and hunting of migratory raptors in western Georgia. *Bird Conservation International* 11:77-92.

Wei M, Lloyd H, Zhang YY (2011) Neighbour-stranger discrimination by Yellow-bellied Tit *Parus venustulus*: evidence for the "dear-enemy" effect. *Journal of Ornithology* 152:431-438.

Whelan CJ, Wenny DG, Marquis RJ (2008) Ecosystem services provided by birds. *Annals of New York Academy of Sciences* 1134:25-60.

Wood BJ, Fee CG (2003) A critical review of the development of rat control in Malaysian agriculture since the 1960s. *Crop Protection* 22:445-461.

Capítulo II – A bioacústica: conceito, história e propriedades sonoras

2.1 A história da Bioacústica no contexto português

A bioacústica consiste no estudo do comportamento de comunicação entre os animais através de sinais sonoros (Tubaro 1999). Esta disciplina é um ramo da zoologia e assume-se como uma área transversal que abrange não só disciplinas como a etologia, biofísica e ecologia, bem como questões fisiológicas (Penna et al. 2009), sistemáticas (Quartau & Boulard 1995), de evolução (Lynch & Baker 1994) e conservação (Gilbert et al. 1994).

O desenvolvimento da bioacústica verificou-se, efetivamente, a partir de 1950, quando a praticabilidade de gravação e da análise do som se tornou mais saliente. Em Portugal, é ao longo dos anos 70 que a bioacústica adquire dimensão, sendo uma ferramenta usada no estudo da biodiversidade abarcando propósitos ecológicos, conservacionistas, de evolução e comportamento e ainda, sob o ponto de vista funcional, sendo o aspeto etológico o mais referenciado (Pereira 2011).

No ano de 1977 efetuaram-se os primeiros registos acústicos em território português com vista ao incremento do conhecimento na espécie *Alytes* sp. Desde então, até ao momento assiste-se a uma aumento exponencial de estudos bioacústicos, de referir, por exemplo, em aves Mota & Depraz (2004), Saraiva (2005) e Cardoso et al. (2008), em morcegos Ramos Pereira et al. (2002) e Rebelo & Rainho (2009), em mamíferos marinhos Faustino et al. (2010) e anuros Marquéz et al. (2008)

Ao nível da cobertura taxonómica constata-se que é no grupo das aves onde residem os maiores esforços de gravação, seguindo-se os morcegos, mamíferos marinhos, anuros e insetos (Pereira 2011).

2.2. As propriedades e organização do som nas aves

O som é uma das várias vias de comunicação que as aves exibem. Em comparação com os demais canais de comunicação, visual, químico e tátil, apresenta vantagens ao nível do uso noturno suplantando a visão, na transmissão e extensão podendo, o sinal, percorrer longas distâncias (similarmente à sinalização química) sendo de detetabilidade considerável, todavia acarreta elevados custos energéticos. No entanto, em equilíbrio, a

comunicação acústica parece conferir largas vantagens que nivelam o comprometimento energético associado (Catchpole & Slater 2003).

As propriedades básicas do som consistem na frequência, intensidade e duração. A gama de frequência audível para humanos compreende os 20 Hz a 20 kHz, contudo o intervalo de audição da maioria dos animais excede inferior ou superiormente os limites de audição humana (Catchpole & Slater 2003).

Tipicamente as vocalizações das aves podem ser categorizadas em cantos e chamamentos. O canto é uma valência das aves canoras, produzindo sons complexos com um vasto repertório. Em geral as canções produzidas por machos na época reprodutiva tendem a ser longas e bastante complexas. Pelo contrário, as aves não canoras comunicam através de sinais acústicos incomparavelmente mais simples. Os chamamentos, por sua vez, tendem a ser curtos, simples podendo ser produzidos pelos dois sexos. São menos espontâneos do que os cantos e surgem, frequentemente, em contexto de luta, perigo e alarme (Catchpole & Slater 2003).

As principais características dos cantos são o *tipo de canto*, o *repertório* (de tipos de canto), as *frases* (que consistem numa série de unidades – sílabas, que ocorrem juntas num determinado padrão), as *sílabas*, por sua vez, quando são complexas são denominadas por *notas* ou elementos (caracterizadas por um traço contínuo no sonograma) (Catchpole & Slater 2003).

Os atributos do som biologicamente importantes incluem as propriedades temporais como a duração, repetição e a sequência de som de elementos, assim como as propriedades espectrais frequência, largura de banda, estrutura das harmónicas e o ruído (Beeman 1998). Os tipos de sons que ocorrem, naturalmente, na comunicação por sinais acústicos são vários entre os quais os sons tonais, politonais e as harmónicas. Os sons tonais contêm um único componente de frequência dominante (que é significativamente mais elevada em amplitude) em cada instante de tempo, no entanto a frequência e a amplitude podem variar com o tempo. A frequência dominante poderá representar a fundamental ou uma harmónica a um nível superior. Os sons politonais apresentam duas ou mais componentes espectrais que não representam harmónicas, mas sim a operação de dois ou mais mecanismos de produção de som independentes e periódicos, como por

exemplo o fenómeno “two-voice” do canto de algumas aves. As harmónicas podem ser dispersas, as quais possuem um pequeno número de componentes espectrais harmonicamente observáveis, podem ser densas, contendo um elevado número de componentes e o som é mais nasal ou “rude” comparativamente às difusas (Beeman 1998).

2.2.1 Habitat e vocalizações

O habitat de determinadas espécies, por exemplo os ambientes florestais, podem refletir diferenças acústicas relacionadas com a estrutura da vegetação, sem expressão genética nos indivíduos. Assim, sugere-se a Hipótese da Adaptação Acústica (AAH) na qual se assume que as vocalizações dos animais se modelam em função do ambiente acústico em que evoluíram, em termos de variação na frequência em padrões temporais (Morton 1975). Neste contexto, as espécies florestais devem produzir vocalizações de frequência baixa, com menor amplitude ou modulações de frequência, evitar trinados salientando os elementos tonais ou assobios (Morton 1975; Brown & Handford 1996).

Existem dois fatores principais que afetam a transmissão do som, a saber, a atenuação e a degradação (Catchpole & Slater 2003). A atenuação caracteriza-se pela redução da intensidade do som que resulta de ondas sonoras que se propagam através de ambientes naturais. A atenuação excessiva é a perda da intensidade de som que ocorre pela propagação esférica e é influenciada por muitos fatores, incluindo a estrutura da vegetação e a frequência do canto (Wiley & Richards 1982). Por sua vez, a degradação é a distorção de um sinal durante a sua transmissão e é produto de flutuações irregulares de amplitude e reverberações. A transmissão do som em ambientes densamente florestados é principalmente distorcida devido à reverberação ou a reflexões múltiplas e à distorção de sinais produzidos durante a propagação (Wiley & Richards 1982). A frequência do canto e a complexidade das superfícies de dispersão afeta o grau em que o som reverbera, que por sua vez influencia as características temporais dentro e entre as notas devido ao salto da onda e à acumulação de ecos (Wiley & Richards 1982; Catchpole & Slater 2003). O grau em que uma onda sonora é tanto atenuada como degradada depende da frequência do sinal e da complexidade do habitat através dos quais os sinais

se propagam. Por exemplo, comparando habitats caracterizados por coníferas e por folhosas, verifica-se que apresentam superfícies de dispersão do som diferentes, uma vez que as agulhas das coníferas oferecem menos resistência do que as folhas largas em casos de frequência abaixo de 10 KHz (como é o caso das exibidas pela Coruja-do-mato). Assim, para matas de folhosas, em geral, atenuam o sinal na ordem dos 2-35 dB/100 m face a 2-20 dB/100 m em bosques de coníferas (Martin & Marler 1977).

2.3. Interface da bioacústica e monitorização da biodiversidade

A bioacústica afigura-se como uma ferramenta valiosa para a conservação de espécies com um notório crescimento nas últimas duas décadas. Como o crescente aumento de interesse na monitorização do efeito das alterações climáticas e da pressão antropogénica na biodiversidade, a investigação acústica surge como um método proeminente para a avaliação das espécies, inclusive as de comportamento mais esquivo, que podem ser indicadoras da modificação do habitat. Assim, em muitos *taxa*, os sinais acústicos representam uma assinatura da sua presença, sendo a sua monitorização mais viável quando realizada acusticamente do que por métodos de observação (Obrist et al. 2010).

Numa perspetiva geral, as interfaces da bioacústica com a conservação oferecem potencialidades aos níveis: (1) *ambiental* para avaliar a reação ao som e o seu controlo, na identificação de zonas importantes para a biodiversidade e na avaliação das alterações do habitat e alterações climáticas; (2) da *comunidade* para censos e estudos de diversidade biológica; (3) *populacional* para estudos de alteração da estrutura das populações e na reintrodução de esforços; (4) *específico* e *subespecífico* na identificação, na distribuição geográfica e em estudos fenológicos; (5) *individual*, onde a identificação é, por vezes, possível como base na assinatura vocal (Baptista & Gaunt 1997).

A execução de censos acústicos pode realizar-se por inventários manuais ou por meios de sistemas de gravação. No primeiro caso, a inventariação manual é frequentemente usada para a determinação da presença de espécies durante um determinado período de tempo e está fortemente dependente do conhecimento do observador, além do elevado consumo de tempo associado. Acarreta, ainda, dificuldades na interpretação de

tendências de longa-duração. Por sua vez, os sistemas de gravação áudio ao perpetuar o canto do indivíduo, permitem capturar e analisar os sons de forma contínua, sendo tais registos uma mais-valia para o conhecimento biológico, seja em meio terrestre ou aquático. As vantagens dos sistemas de gravação para a monitorização de espécies são inúmeras (Tabela 3), lançando a bioacústica para o campo da biologia da conservação, evidenciando a disciplina como uma ferramenta potencial para a redefinição da perspetiva evolucionista tradicional.

Tabela 3. Potencialidades da gravação áudio na bioacústica (Obrist et al. 2010; Pijanowski et al. 2011).

Bioacústica - os sistemas de gravação

Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas não invasivos • Suplanta a observação visual, muito adequada a espécies noturnas, secretivas e crípticas • Baixo custo de esforço • Dupla verificação da identificação da espécie • Potencialidade do armazenamento para revisão posterior • Registo permanente dos sons para avaliação quantitativa e qualitativa
------------------	--

Na atualidade, a bioacústica oferece um vasto leque seja para a identificação de espécies como para a sua monitorização. Devido à diversidade de comportamentos vocais que as aves silvestres apresentam, a possibilidade da aplicação de técnicas acústicas não pode ser indiscriminada e requer um conhecimento detalhado da biologia e comportamento da espécie a estudar (Tubaro 1999).

2.4 Bibliografia

Baptista L, Gaunt L (1997) Bioacoustics as a tool in conservation studies. Behavioral Approaches to Conservation in the Wild. Cambridge University Press.

Beeman K (1998) Digital Signal Analysis, Editing and Synthesis. In Hopp S, Owren M, Evans C (Eds.) Animal Acoustic Communication. Springer Verlag. 59-103 pp.

Brown TJ, Handford P (1996) Acoustic Signal Amplitude Patterns: A Computer Simulation Investigation of the Acoustic Adaptation Hypothesis. *The Condor* 98:608-623.

Cardoso G, Mamede A, Atwell J, Mota P, Ketterson E, Price T (2008) Song frequency does not reflect differences in body size among males in two oscine species. *Ethology Ecology & Evolution* 114:1084-1093.

Catchpole CK, Slater PJB (2003) Bird Song: Biological Themes and Variations. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

Faustino C, Silva M, Marques T, Thomas L (2010) Designing a shipboard line transect survey to estimate cetacean abundance off the Azores archipelago. *Arquipelago. Life and Marine Sciences* 27:49-58.

Gilbert G, McGregor PK, Tyler G (1994) Vocal individuality as census tool – practical considerations illustrated by a study of 2 rare species. *Journal of Field Ornithology* 65:335-348.

Lynch A, Baker A (1994) A population memetics approach to cultural evolution in chaffinch song: differentiation among populations. *Evolution* 48:351-359.

Márquez R, Llusia D, Beltrán J, do Amaral J, Bowkers R (2008) Anurans, the group of terrestrial vertebrates most vulnerable to climate change: a case study with acoustic monitoring in the Iberian Peninsula. In Frommolt K, Bardeli R, Clausen M (Eds.) Computational Bioacoustics for Assessing Biodiversity. Isle of Vilm, Germany 4-52 pp.

Martin K, Marler P (1977) Sound transmission and its significance for animal communication. I. Temperate habitats. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 2:271-290.

Morton ES (1975) Ecological sources of selection on avian sounds. *American Naturalist* 109:17-34.

Mota PG, Depraz V (2004) A Test of the Effect of Male Song on Female Nesting Behaviour in the Serin (*Serinus serinus*): a Field Playback Experiment. *Ethology* 110:841-850.

Obrist M, Pavan G, Sueur J, Riede K, Llusia D, Márquez R (2010) Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories. ABC Taxa. 68-99 pp.

Penna M, Gormaz J, Narins P (2009) When signal meets noise: immunity of the frog ear to interference. *Naturwissenschaften* 96:835-843.

Pereira S (2011) A influência da bioacústica na evolução da ciência em Portugal. Interface da bioacústica e monitorização da biodiversidade. Universidade Técnica de Lisboa.

Pijanowski B, Villanueva-Rivera L, Dumyahn S, Farina A, Krause B, Napoletano B, Gage S, Pieretti N (2011) Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape. *BioScience* 61:203-216.

Quartau J, Boulard M (1995) *Tettigetta mariae*, nouvelle Cigale lusitanienne (Homoptera cicadoidea; Tibicinidae). *EPHE Biologie et Evolution des Insectes* 7/8:105-110.

Ramos Pereira M, Rebelo H, Rainho A, Palmeirim J (2002) Prey selection by *Myotis myotis* (Vespertilionidae) in a Mediterranean region. *Acta Chiropterologica* 4(2):183-193.

Rebelo H, Rainho A (2009) Bat conservation and large dams: spatial changes in habitat use caused by Europe's largest reservoir. *Endangered Species Research* 8:61-68.

Saraiva T (2005) Contribuição para o estudo do comportamento vocal da Rola-brava (*Streptopelia turtur* L., 1758). Tese de Mestrado em Ecologia Aplicada. FCUP

Tubaro PL (1999) Bioacústica aplicada a la sistemática, conservación y manejo de poblaciones naturales de aves. *Etologia* 7:19-32.

Wiley RD, Richards DC (1982) Adaptation for acoustic communication in birds: sound transmission and signal detection. In Kroodsma DE, Miller EH, Quellet H (Eds.) *Acoustic Communication in Birds*. Academic Press. 131-181 pp.

Capítulo III – Reconhecimento individual na Coruja-do-mato (*Strix aluco*): análise bioacústica do canto territorial

3.1. O reconhecimento individual

Praticamente todas as espécies de aves produzem vocalizações audíveis (cantos territoriais ou chamamentos) e um considerável número de espécies tem demonstrado diferenças consistentes entre indivíduos quando efetuada a detalhada revisão das suas vocalizações. Com efeito, este fenómeno foi denominado por individualidade consistente da voz por Saunders & Woolder (1988) citado por McGregor & Byle (1992).

O reconhecimento acústico baseado nas diferenças individuais implica que a estrutura da vocalização, ou parte desta, é significativamente variável dentro da população e reciprocamente, revela uma apreciável constância no mesmo indivíduo (Galeotti et al. 1993).

Os sinais acusticamente distinguíveis apresentam um potencial para serem eleitos como alternativa a métodos de marcação que impliquem captura e técnicas invasivas, fornecendo valiosas informações para a conservação de espécies. Estudos anteriores evidenciam que várias espécies de aves apresentam diferenças ao nível da vocalização que permitem o reconhecimento individual com base no canto (e.g. Manzi *et al.*, 1988). Em espécies que ocupam ambientes de vegetação densa, nomeadamente o Abetouro (*Botaurus stellaris*) (McGregor & Byle 1992) e o Codornizão (*Crex crex*) (Peake et al. 1998) o uso das vocalizações no que respeita à manifestação de traços de individualidade das aves é uma mais-valia sob o pouco de vista ecológico e conservacionista (McGregor & Byle 1992).

Em particular nos passeriformes que possuem um vasto repertório com diferentes tipos de notas e mesmo temas distintos dos quais somente uma pequena parte individualiza um espécime dos conspecíficos (Galeotti & Pavan 1991). Contrariamente, nas aves de rapina, principalmente em espécies de strigiformes, a vocalização parece muito estereotipada e a evidência de variações dentro das populações, bem como o reconhecimento individual é apenas circunstancial (Southern 1970). Por outro lado, esta abordagem permitiu identificar os estritos sistemas territoriais, a presença de monogamia

bem como a estabilidade do par macho-fêmea (Cramp 1985) características de algumas espécies, e em suma, a importância da vocalização na biologia dos Strigiformes e o seu valor adaptativo (Emlen 1973). Um aspecto relevante nas interações vocais nas aves é o caso das díades, não em significado de disputa territorial mas em dueto. Particularmente, a espécie em estudo, a Coruja-do-mato apresenta muito comumente este sistema de comunicação. Os duetos são exemplos impressionantes da coordenação de tempo e de padrões específicos da interação vocal de indivíduos. O dueto incluiu a variedade de tipos de cantos ou chamamentos que são desenvolvidos entre os membros de um par ou grupo (Price 1998). O comportamento de dueto pode ser dividido nas seguintes categorias (Todt & Naguib 2000): (1) as contribuições do dueto não são permutáveis entre os membros do par. Cada elemento contribui com uma parte para o dueto; (2) os contributos do dueto são permutáveis entre os membros do par, onde o padrão básico do dueto é dividido em unidades sucessivas e sequências (e.g. sílabas). Esta categoria de dueto mostra as semelhanças entre os membros vocais seja entre indivíduos vizinhos (Todt & Naguib 2000) ou em parilha macho-fêmea (Terry et al. 2005).

A vocalização típica da Coruja-do-mato é usada frequentemente para afirmar e defender o seu território, mas também para comunicação com a fêmea (Wendland, 1963 citado por Galeotti & Pavan 1991). Tipicamente consiste em três notas foneticamente descritas como: (I) um longo «hooo», (II) um abrupto e deprimido «hu» por vezes quase inaudível e (III) um prolongado, ressonante e hesitante «huhuhuhooo» (Southern 1970). É um canto ululante, um som aflautado, belo e puro e a sua nota final apresenta uma vibração distinta (Stadler, 1945 citado por Galeotti & Pavan 1991). Este chamamento é especialmente proferido pelo macho, contudo a fêmea faz um chamamento similar embora menos claro, mais rouco e ligeiramente maior na frase final. Outro chamamento familiar é o «kewick» que pode ter uma função de contacto, embora desempenhe também um papel agressivo na defesa territorial e pode ser emitido pelos dois sexos (Cramp 1985; BTO 2007).

O sinal acústico pode ser graficamente representado sob duas formas: domínio temporal e domínio de frequência. A transformação (ou transformada) de *Fourier* é a função matemática que converte o domínio temporal numa representação de

frequências, ou designadamente espectro. Quando o sinal e o espectro são representados como uma sequência discreta de amostras designa-se por transformação discreta de Fourier (DFT) (Manual Canary 1993).

O critério de seleção da maior parte das assinaturas acústicas individuais é a elevada variação inter-individual comparativamente à baixa variação intra-individual para uma dada característica (Terry et al. 2005).

Para conhecimento do panorama geral do interesse científico no reconhecimento individual, refere-se na Tabela 4 as publicações nas mais relevantes revistas científicas. A busca foi efetuada com recurso às expressões “vocal individual recognition” nas demais plataformas de pesquisa científica (ISI Web of Knowledge, Academic Search Complete, Science Direct, Wiley Online Library e nas páginas das respectivas revistas).

Tabela 4. Número de artigos científicos resultantes da pesquisa com os termos “vocal individual recognition” ao longo do texto publicados até Setembro de 2012.

Revistas científicas Indexadas	Nº de artigos
Animal Behaviour	113
Applied Acoustics	13
Applied Animal Behaviour Science	114
Behavioral Ecology	61
Behavioral Ecology and Sociobiology	83
Bioacoustics	30
Biological Conservation	20
Biology Letters	30
Ecology	6
Ethology	32
Ibis	192
Journal of animal Ecology	6
Journal of Applied Ecology	9
Journal of Avian Biology	31
Journal of Ethology	32
Journal of Zoology	95
Nature	10
Oecologia	5
Plos One	35
Proceedings of the Royal Society B	155
Trends in Ecology and Evolution	27
Total	1099

3.1.1 Casos de estudos em Strigiformes

As aves de rapina noturnas ocorrem, em geral, a baixas densidades e são habitualmente difíceis de monitorizar pelos seus hábitos secretivos e noturnos. A maior parte dos Strigiformes são territoriais e evidenciam uma elevada fidelidade depois da dispersão. No entanto, a maior parte das rapinas noturnas são caracterizadas pela sua vocalização de longo alcance, traço esse usado para mostrar a distinta individualidade de algumas espécies (Terry et al. 2005).

No passado recente, tem-se verificado um crescente interesse pelo estudo da atividade vocal de aves de rapina noturnas e a sua interpretação etológica. (Galeotti & Pavan 1991) desenvolveram um estudo que visou o reconhecimento vocal em machos de Coruja-do-mato, pela análise de espectrogramas, com um sucesso de classificação de 91%. A equipa referiu sete parâmetros temporais para avaliação de diferenças entre espectrogramas de indivíduos macho de Coruja-do-mato, a saber: I_1 , I_2 e I_3 – intervalos entre notas, respetivamente nota inicial I, nota II e nota final III; D_1 , D_2 e D_3 – duração das notas I, II e III; DTOT – comprimento/duração total do *hooting*; FML – duração da porção modulada inicial da nota III. Ainda (Galeotti 1998) conclui que nesta espécie a taxa de emissão da vocalização dos machos reflete aspetos do seu potencial competitivo, enquanto a duração e amplitude de frequência das notas se relacionam com o sucesso reprodutor e estabilidade na ocupação do território. Há também evidências de que as características do habitat influenciam a estrutura das vocalizações, como é o caso da Coruja-do-mato (Appleby & Redpath 1997).

Para o mocho-d'orelhas (*Otus scops*) estão publicados estudos sobre a cooperação na defesa territorial e agressão entre sexos com recurso à observação de sonogramas (Galeotti et al. 1997) e que se verifica uma rotatividade anual sobre territórios de reprodução de 55-78%, consequência dos hábitos migratórios e das elevadas taxas de mortalidade no inverno (Galeotti & Sacchi 2001). Ainda nesta espécie, foi estudada a individualidade e estabilidade com 60% de sucesso baseada na sua vocalização (Dragonetti 2007). Face à espécie *Strix varia*, Freeman (2000) individualizou, com base na vocalização, 17 machos com uma precisão de 84,5%. No caso do *Aegolius acadicus* foi testada a variação individual no seu canto territorial (Otter 1996). Ainda para a espécie

bufo-real (*Bubo bubo*) foi averiguada a estabilidade temporal da vocalização em indivíduos cativos, chegando-se a uma discriminação de 100% dos envolvidos (Lengagne 2001). Ainda, com o bufo-pequeno (*Asio otus*) Cavanagh & Ritchison (1987) visou testar a variação inter-individual das vocalizações primária (“whinny”) e secundária (“bounce”). Para a espécie *Ninox natalis* foi encontrada a variação individual na vocalização territorial, explicada em 91.3% de discriminação (Hill & Lill 1998). Um estudo de Galeotti et al. (1993) com base numa análise multivariada das vocalizações de *Glaucidium passerinum* classificou corretamente 84,6% dos indivíduos. Em ambientes florestais africanos, com a espécie *Strix woodfordii*, foi encontrada uma taxa de sucesso de 80,9% de classificação individual para os machos e de 96,3% para as fêmeas conspecíficas (Delport et al. 2002). Por fim, indivíduos de *Strix nebulosa* na Serra Nevada foram alvo de uma análise em busca de traços de individualidade verificando-se que 92,8% das vocalizações foram discriminadas com robustez (Rognan et al. 2009). Um estudo de Chumbinho (2002) objetivou a caracterização do canto territorial do mocho-galego (*Athene noctua*) e a detecção da variabilidade inter e intra-individual em machos da espécie. A percentagem das vocalizações corretamente classificadas foi de 74.8% para o número total de mochos. Em Portugal, até ao momento, não existem investigações no âmbito da caracterização bioacústica da Coruja-do-mato, espécie alvo deste estudo e em geral, em aves de rapina noturnas são ainda escassas (e.g. Chumbinho 2002). Assim urge o investimento e consolidação desta linha de trabalho.

3.2 Fatores de influência da atividade vocal

A função das vocalizações nas aves tem sido largamente estudada ao longo das últimas décadas, não obstante a vasta informação teórica e empírica que suporta os papéis dos diferentes chamamentos e cantos, as restrições do canto estão ainda pouco compreendidas pelo que se verifica a necessidade de mais pesquisa nessa área da ecologia da avifauna (Gil & Gahr 2002).

Muitas das espécies com hábitos noturnos, elegem o som como o meio de obtenção de informação mais eficaz sob condições de parca luz. Todavia, recentemente concluiu-se que a comunicação nos Strigiformes depende também de sinais visuais (Penteriani et al.

2006; Galeotti & Rubolini 2007), e que a conspicuidade de determinadas características na plumagem é aumentada em condições atípicas de luz no período noturno, como por exemplo, sob luar intenso (Penteriani et al. 2010).

O padrão de atividade vocal nas aves de rapina noturnas é influenciado por outros fatores, a saber, o mais proeminente é a altura do ano, com taxa de vocalização que variam ao longo do ciclo de reprodução das espécies (Sunde & Bølstad 2004; Delgado & Penteriani 2007). O momento do dia também condiciona a atividade vocal, sendo que a maioria dos Strigiformes é vocalmente mais ativos numa faixa temporal junto ao crepúsculo e próximo da aurora (Penteriani et al. 2002; Delgado & Penteriani 2007; Hardouin et al. 2008). Ainda, a densidade de pares reprodutores conspecíficos é outro fator bem documentado no comportamento vocal do grupo (Redpath 1995; Penteriani et al. 2002; Sunde & Bølstad 2004), e a intensidade da resposta apresenta especificidade tratando-se de um vizinho ou um estranho (Galeotti & Pavan 1993; Appleby et al. 1999). Há um espectro alargado de evidências que mostram que as condições climáticas influem na comunicação das rapinas noturnas, como por exemplo, em casos de chuva e ventos fortes (Lengagne & Slater 2002; Kissling et al. 2010) regista-se uma redução na atividade vocal, assim como a baixas temperaturas (Clark & Anderson 1997; Hardouin et al. 2008). A nebulosidade, encarada como um fator de influência da luminosidade lunar, também parece surtir efeito na atividade vocal das aves. As espécies *Bubo virginianus* e *Strix occidentalis* evidenciam maiores taxas de vocalização em noites de céu limpo (Ganey 1990), enquanto outros estudos revelam dados contraditórios para diferentes espécies (e.g. Clark & Anderson 1997).

3.3. Metodologia

3.3.1 Área de estudo

O presente trabalho decorreu nas áreas agro-florestais do concelho de Gouveia, distrito da Guarda, com uma área de cerca de 20 000 ha, da qual cerca de um terço está inserida no Parque Natural da Serra da Estrela (PNSE) (Figura 3).

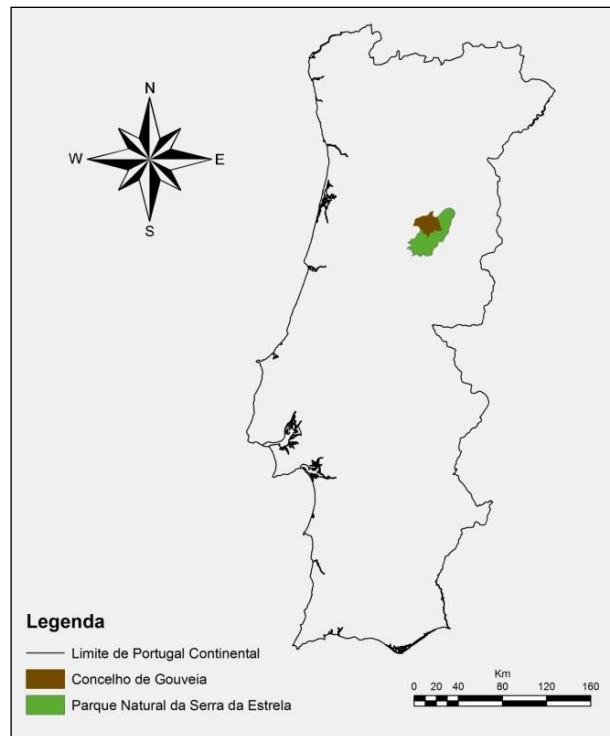


Figura 3. Localização da área de estudo.

O concelho de Gouveia insere-se no domínio noroeste do maciço da Serra da Estrela e no planalto da Beira Alta, abrangendo altitudes de 230 a 1600 m. Predominam as zonas de declive inferior a 10% e é nas zonas baixas, 300 a 600 m, onde ocorre maior densidade populacional e uma ocupação agrícola mais acentuada. A zona serrana encontra-se a sudoeste do concelho com declives e altitudes superiores a 30% e a 700-800 m, respetivamente (Rede Social de Gouveia 2004).

A diversidade de vegetação ao longo do concelho varia consoante a altitude, natureza do solo, exposição do terreno e as variações climáticas. A sua distribuição permite nomear três andares altitudinais: superior, intermédio e basal. O andar superior (>

1600m) corresponde à zona da Lagoa do Vale do Rossim, na qual predomina o zimbro (*Juniperus communis*). No andar intermédio (900-1600m) a degradação dos bosques originais conduziu, essencialmente, à proliferação de urzais, giestais ou caldoneirais e a uma degradação mais acentuada, a prados pioneiros ou, em condições húmidas, à formação de feto-ordinário. Ainda nesta faixa foram criados prados seminaturais devido às componentes de rega e fenagem. No andar basal (300-900 m) verifica-se o domínio das áreas agrícolas, registando-se aqui a maior densidade de povoação e o maior grau de perturbação associada. Devido às atividades antropogénicas, como o fogo, corte, pastoreio, lavoura, florestação e cultivo, os bosques climácicos desapareceram, restando atualmente apenas pequenos e incompletos fragmentos de bosques seminaturais. As etapas de degradação abrangem as pequenas áreas de matagal e amplas zonas de matos rasteiros, sendo proeminentes os que possuem espécies de *Cistus* (giestas) e de *Lavandula* (rosmaninho) (Jansen 2002, Rede Social de Gouveia 2004).

A temperatura média anual de Gouveia é de 13°C, sendo que em Julho e Agosto atinge os 19°C de temperatura média em Janeiro 6,4°C. A precipitação média anual é de 1150 mm, verificando-se uma acentuada discrepância entre o semestre húmido (Outubro a Março) e o semestre seco (Abril a Setembro). O concelho de Gouveia situa-se na região hidrográfica do Mondego, tendo como principais linhas de água o Rio Mondego, o Rio Torto e inúmeras ribeiras (Rede Social de Gouveia 2004).

O presente trabalho baseou-se nos pontos de amostragem de um anterior estudo de recenseamento de aves de rapina noturnas por Aguiar, 2009. Assim, definiu-se a escolha inicial de 17 territórios dando preferência a locais de nidificação confirmada (4 pontos) e nidificação possível (11 pontos), os restantes pontos (2) foram de nidificação provável segundo as ilações de estudo citado. Notar que foi efetuada uma prospeção de territórios para ampliar a amostra, resultando em 3 pontos que não fazem parte do estudo referido. Apenas foram mapeados os territórios que tiveram resposta vocal, resultando numa amostra de $n = 16$ (Figura 4).

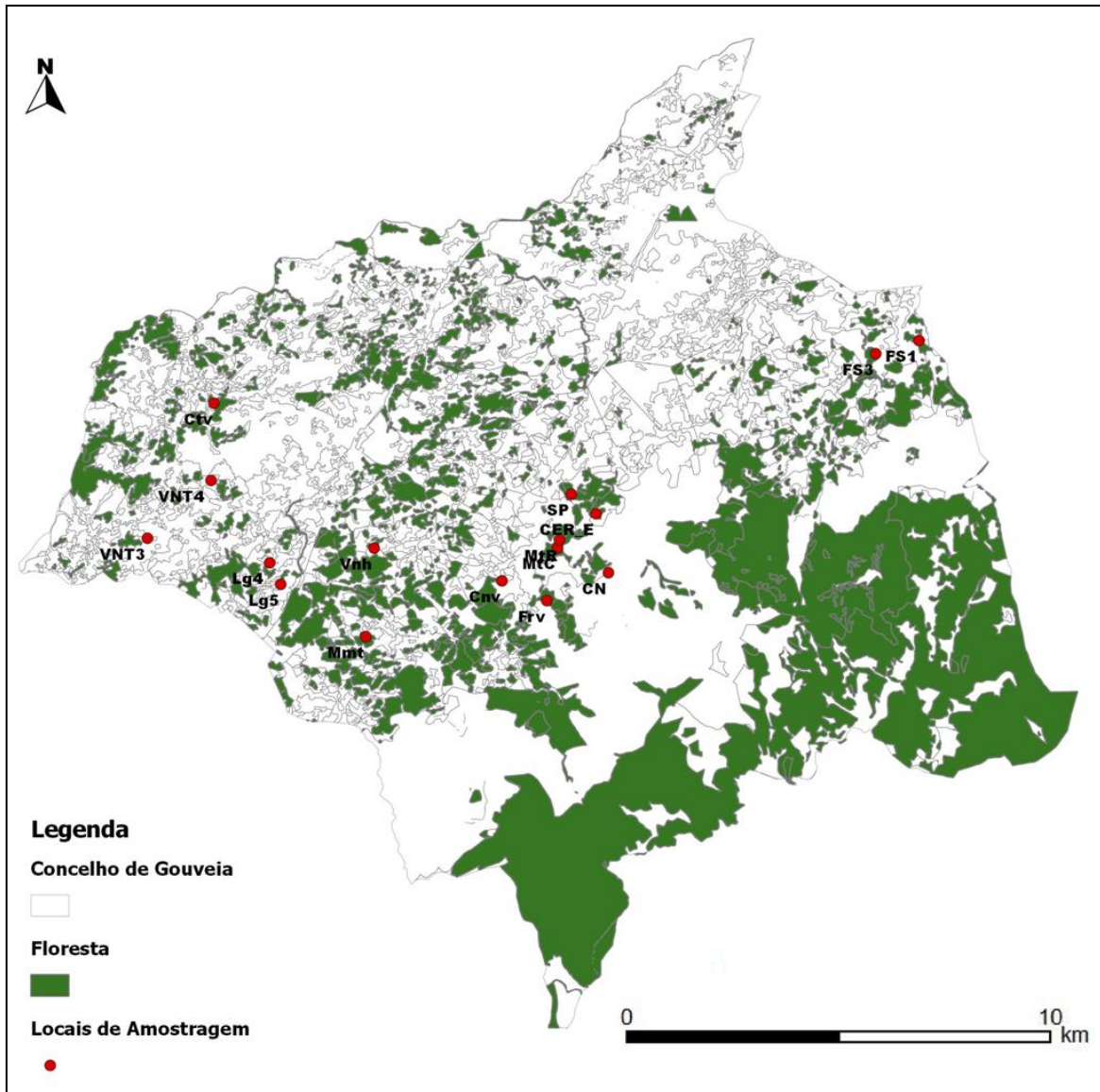


Figura 4. Distribuição dos pontos de amostragem (n = 16) na área de estudo.

O período de amostragem decorreu de 15 de Junho a 29 de Agosto de 2010 e de 20 de Novembro de 2011 a 17 de Agosto de 2012. O intervalo de tempo compreende todas as idas ao campo, sendo que a última deteção/gravação de espécimes ocorreu a 20 de Julho em 2010 e, no segundo ano a 25 de Julho de 2012. Como exemplo da tipologia geral dos pontos de amostragem ver Figura 4.





Figura 5. Registos fotográficos representativos dos territórios ocupados pela Coruja-do-mato na área de estudo. Um apontamento dos pontos (de cima para baixo): Mata da Cerca, Cativelos, S. Julião - Convento de S. Francisco, V.N. Tazem 4, Lagarinhos 5.

3.3.2. Recolha de dados

3.3.2.1. Produção de estímulos

Segundo Bibby et al. (2000), a realização de estações de escuta seja para detetar vocalizações espontâneas ou com recurso à emissão de vocalizações conspecíficas assume-se como o melhor método para estudar este grupo. O uso de *playback* de sons gravados ou imitações de chamamentos para atrair animais pode superar o enviesamento pela estimativa das populações por deteção de vocalizações espontâneas. No caso de espécies territoriais é altamente provável que respondam às vocalizações específicas com

vocalizações, exibindo agressividade, frequentemente ao longo da época reprodutiva e mesmo no inverno (Baptista & Gaunt 1997). Os Strigiformes respondem, prontamente, à simulação áudio de um macho e a resposta a essas chamadas tem sido usada como técnica de censo para verificar, por exemplo, o efeito da fragmentação em habitats florestais ocupados por corujas (Redpath 1995). Neste trabalho utilizou-se a emissão de vocalizações conspecíficas com objetivo de estimular a atividade vocal dos indivíduos em resposta a intruso simulado (Galeotti & Pavan 1991; Zuberogoitia & Campos 1998).

As estações de escuta tiveram início no mínimo 30 minutos depois da hora do acaso (Navarro 2005; Aguiar 2009; Lopes 2009), mas mais comumente foi usada como referência a hora do crepúsculo do Sol correspondente ao escurecer, informação publicada pelo Observatório Astronómico de Lisboa (2010, 2011 e 2012). O esquema de emissão para a espécie foi composto por 2 minutos de vocalização do macho, seguindo-se 3 minutos de silêncio (adaptação de Zuberogoitia & Campos 1998; Aguiar 2009; Lopes 2009), antes de iniciar a repetição do esquema. Para cada território foram emitidas vocalizações no máximo de três vezes, protocolo de *playback* estabelecido tendo em conta as considerações éticas. Utilizou-se a vocalização territorial de indivíduos estranhos uma vez que a resposta de espécies territoriais a potenciais intrusos é geralmente mais intensa do que a vocalizações de vizinhos, que possuem territórios contíguos, bem estabelecidos e deverão constituir, nesse sentido, menores ameaças à defesa de território (Galeotti & Pavan 1993; Stoddard 1996).

Os estímulos produzidos consistiram numa adaptação das vocalizações de Roche (2010), e em três estímulos “naturais” amplificados, ou seja, consistiram em vocalizações de indivíduos machos pertencentes à população em estudo recolhidas na primeira época reprodutiva por Raquel Silva em 2010. Para a elaboração dos estímulos foram selecionadas as unidades da vocalização com uma boa relação sinal/ruído com recurso ao *software* Avisoft-SASLab Pro v.4.40 (Avisoft Bioacoustics, Berlin), sendo repetidas ao longo da faixa num balanço entre a taxa individual de *hoot* e os aspetos vocais documentados na literatura, a saber o *hooting* ocorre, tipicamente, 2 – 5 vezes por minutos (Cramp 1985; Galeotti & Pavan 1991). Assim, obtiveram-se estímulos com a duração de 2 minutos e com uma taxa de emissão média de 7.66, num intervalo de 5-10

hoots, em formato WAV. Não se verificou a alteração do formato de gravação ao longo do tratamento dos estímulos, mantendo o mesmo desde a exportação dos ficheiros áudio do gravador utilizado (Marantz Professional PMD660).

Um dos aspetos referentes aos estudos de *playback* largamente discutido é o fenómeno da pseudoreplicação, que em bioacústica é aplicado a casos em que apenas um número restrito de estímulos é utilizado para testar uma hipótese geral. Por conseguinte, é aconselhada a utilização de múltiplos exemplos de estímulos em detrimento de uma única representação de cada categoria (Kroodsmas et al. 2001).

Notar que foi tida em consideração a distância entre territórios, concretamente, não se utilizou o chamamento de um indivíduo de um território contíguo, sequer da mesma área (freguesia) ao indivíduo alvo (a gravar). Elegeram-se a utilização de vocalizações de indivíduos estranhos dado que a resposta a potenciais intrusos, por parte de espécie territoriais, é usualmente mais intensa do que a vocalizações de vizinhos, com territórios contíguos bem definidos, constituindo assim uma menor ameaça (Galeotti & Pavan 1993; Stoddard 1996)

Os estímulos foram emitidos a partir de um megafone Velleman M25SM (25W) conectado a um leitor de mp3 Samsung 2G T10 numa primeira abordagem, e posteriormente a partir de um computador portátil Toshiba Satellite A300 1M1 (Figura 9) através de duas colunas portáteis Sony SRS-A5S.

3.3.2.2. Registo de sinais acústicos

As aves foram estimuladas com recurso a *playbacks* realizados a cerca de 2 metros acima do solo, tão próximo quanto possível do local de deteção dos indivíduos no estudo de Aguiar (2009). Nos casos de novos pontos, sem anterior indício de presença selecionou-se um dos limites dos bosquetes ou matas de melhor acesso e com disponibilidade de poços próxima para a projeção dos chamamentos.

As gravações foram efetuadas o mais próximo possível dos indivíduos vocais ($33,86 \pm 25,27$ m; variando de 5 a 100 m) Assim, antes da projeção dos estímulos efetuou-se um intervalo de espera de 10 minutos para, expectavelmente, se detetar vocalizações

espontâneas, assegurando, em caso afirmativo, a menor distância ao indivíduo numa primeira abordagem áudio ou em moldes ideais, uma gravação sem emissão de *playback*.

Todas as respostas foram registadas com um gravador portátil Marantz Professional PMD660, usando um microfone direcional Sennheiser MKH816T com um isolador MZS 415 (“Shock Mount”) ligado a um adaptador de bateria Sennheiser MZA 15 (Figura 9). O estímulo aplicado a cada território foi selecionado aleatoriamente, manifestando-se sensibilidade para não emitir o mesmo *playback* a territórios próximos no mesmo dia.



Figura 6. Registos fotográficos do material em execução de playback (esquerda) e em gravação da resposta das aves (direita).

As gravações foram efetuadas em dias pouco ventosos, obrigatoriamente sem chuva e junto ao pôr-do-sol como referido e com término variável na perspetiva de otimizar o esforço de campo. Cada período de gravação somente terminou quando os indivíduos paravam de vocalizar ou, no caso de permanecerem ativos vocalmente por longos intervalos de tempo (20-25 minutos) optou-se por parar a gravação. Teve-se como indicativo a repetição apenas da primeira nota da ou da emissão da vocalização de alarme por parte das corujas, indiciando níveis consideráveis de stress e agressividade.

Posteriormente a este item vocal não procediam à emissão do canto territorial completo, as três notas aflautadas.

Em casos de ausência de resposta terminado o esquema completo de emissão (3 vezes), não se efetuava outro *playback* na mesma noite, destinava-se para outra visitação. Os pontos sem resposta até ao final do ciclo de gravação foram persistentemente revisitados com a projeção de estímulos de indivíduos diferentes das vezes anteriores, assim verifica-se que nenhum ponto de amostragem foi apenas visitado uma única vez em cada ano de estudo, à exceção dos locais com gravações de boa qualidade.

Adicionalmente, foram gravadas todas as vocalizações de fêmeas e juvenis, seja de carácter espontâneo ou após o *playback*. No caso da vocalização das fêmeas entendeu-se como fiável a discriminação *in locus*, quando em dueto com o macho (Galeotti 1998), excetuando os eventos de taxas de resposta idênticas, de *hoots* completos, por parte dos dois géneros e quando as diferenças de tom vocal não foram claras. Assim, perante alguma incerteza associada reserva-se a correta avaliação de sexos para uma abordagem estatística preliminar (análise aglomerativa *cluster*). Já nos indivíduos imaturos, os eventos foram escassos e espontâneos, havendo uma aproximação ao emissor artificial (a equipa) depois de efetuado o *playback*.

Para cada estação foram utilizadas fichas de campo onde se registou: a resposta vocal, sexo do indivíduo emissor, a distância mínima estimada a que as aves se encontravam até 100 metros, a duração da resposta, os fatores abióticos como a fase da lua, temperatura, ruído, vento, nebulosidade, nevoeiro e luminosidade; data, hora do início da gravação, hora do acaso e do escurecer (Anexo II). As condições ambientais: ruído, vento, luminosidade e nebulosidade foram quantificadas segundo Takats et al. (2001) com adaptações (Anexo III) (Aguiar 2009; Lopes 2009; Silva 2010).

Para maximizar os resultados e garantir que as gravações e consequentes espectrogramas correspondam a indivíduos diferentes é necessário cumprir os requisitos: (i) que os *hootings* sejam simultâneos, (ii) que os registos se efetuem nos mesmos locais ao longo da mesma época de reprodução (caso se verifique a necessidade de regravação) e (iii) a distância entre os territórios deve ser extensa o suficiente para assegurar que a

vocalização pertence ao mesmo indivíduo (Galeotti & Pavan 1991).

3.3.3. Análise acústica

3.3.3.1. Descrição geral da vocalização

Foram selecionadas entre 579 unidades da vocalização territorial (“*advertising call*”), ou seja o número total de *hoots*, com a melhor razão sinal/ruído para cada indivíduo em cada sessão de gravação, perfazendo um total 161 sons ($x = 10,1$ por indivíduo, variando de 4 - 23) de 16 indivíduos. Destes 16 indivíduos (161 vocalizações) 5 machos (51 vocalizações) pertencem ao primeiro ano de gravação, o ano de 2010. Por sua vez, na segunda época reprodutiva foram selecionados 11 aves correspondendo a 110 *hoots*.

Posteriormente foram produzidos espectrogramas de cada uma das unidades da vocalização (*hoots*) selecionadas através do programa Avisoft, com as seguintes definições que conferiram o equilíbrio entre a resolução ao nível temporal, de frequência e facilidade de análise (Tabela 5):

Tabela 5. Definições dos parâmetros mensurados pelo Avisoft.

	Parâmetros de espectrograma	Parâmetros da grelha
Análise de frequência	Comprimento da FFT: 512 Tamanho: 100% Largura da banda de análise: 50Hz Resolução de frequência: 23Hz Função de janela: Blackman	Tamanho: 100% Largura da banda de análise: 38 Hz Resolução de frequência: 23 Hz Função de janela: Blackman
Análise temporal	Sobreposição: 75% Largura da banda de análise: 20ms Resolução temporal: 10,7 ms	Limiar (intensidade): 30
Conversão de frequência de amostragem: 12000 Hz		

Com base na literatura (Galeotti & Pavan 1991) e com ponderação face às vocalizações quanto à sua conformação, tendências e variações das notas (o caso da nota II, por

defeito ou excesso), selecionam-se os seguintes parâmetros para a análise da individualidade (Figura 10 e Tabela 6):

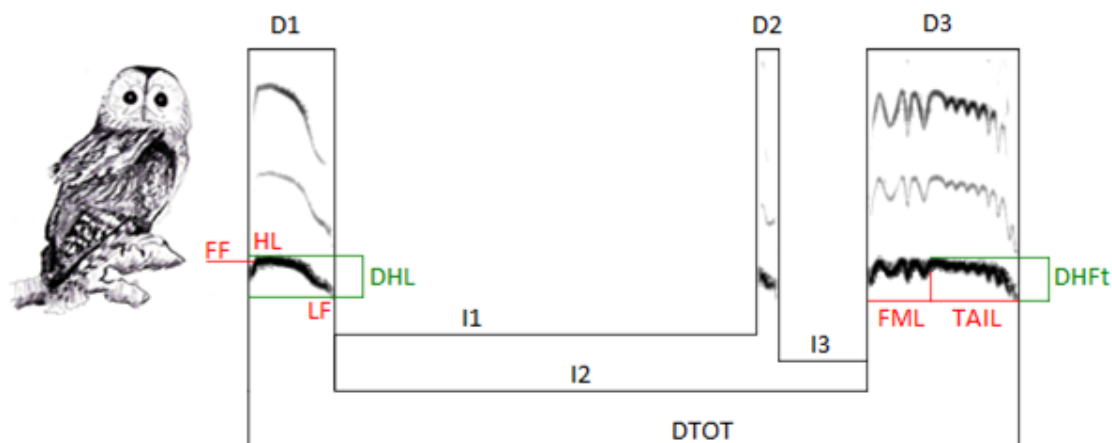


Figura 7. Representação de vocalização da Coruja-do-mato assinalando os parâmetros temporais e as medidas de frequência consideradas.

É de referir que não foram medidas as frequências das harmónicas mais intensas para cada caso, uma vez que ao longo da análise dos sonogramas verificou-se alguma inconsistência dentro do indivíduo, concretamente, uma mesma ave apresentou a 2ª e 3ª harmónicas como as segundas mais intensas, em diferentes *hoots*, depois da fundamental. Tendo o facto em consideração foi efetuada a inspeção qualitativa no que respeita à presença de harmónicas e quando presentes qual foi a mais intensa. É expectável que a diferença no número de harmónicas visíveis possa estar relacionada, com as diferenças anatómicas entre indivíduos e/ou com as condições de gravação, nas quais a grandes distâncias venha a ser atenuada. Neste sentido, estes múltiplos da fundamental não deverão assumir-se como uma característica credível na discriminação entre os indivíduos (Chumbinho 2002).

Tabela 6. Parâmetros registados para cada hooting analisado.

PARÂMETROS QUANTITATIVOS		
DOMÍNIO TEMPORAL	D1	Duração da nota I
	D2	Duração da nota II
	D3	Duração da nota III
	I1	Intervalos entre notas
	I2	
	I3	
	FML	Duração da parte modulada da nota III
	TAIL	Duração da vibração da nota III
	DTOT	Duração total do <i>hoot</i>
DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA	FF	Frequência fundamental da nota I
	HF	Frequência máxima da nota I
	LF	Frequência mínima da nota I
	DHL	Diferença entre HF e LF
	DHLt	Diferença entre HF e LF da TAIL (nota III)

3.3.3.2. A individualidade da vocalização – variações intra e inter-individuais

Para esta análise foi considerada uma subamostra de 161 unidades pertencentes a 16 indivíduos amostrados. A produção dos sonogramas seguiu os procedimentos descritos anteriormente e os parâmetros analisados foram os mencionados na Tabela 6. Foi efetuada a inspeção dos espectrogramas de forma a ser detetada a existência dentro de variações do mesmo indivíduo. Todavia, esta análise, não revelou tipos ou formas intra-indivíduo repetíveis num número considerável de indivíduos.

3.3.3.4 Duetos vocais

Dada a presença da fêmea na defesa territorial em 12 dos 16 locais de amostragem, o que representa 75% dos pontos considerados, torna-se claro o papel ativo da fêmea na resposta a um potencial intruso. Desta população de pares em duetos foram selecionados 7 pares tendo como o critério o mantido ao longo do trabalho, concretamente, a melhor

razão sinal/ruído dos *hoots* e as vocalizações mais consistentes, ou seja, sempre que possível com *hoots* completos (3 notas).

A literatura atribui uma certa plasticidade entre sexos na demarcação de território, referindo que a vocalização da fêmea se verifica especialmente no Outono e em comunicação com o seu conspecífico (Cramp 1985). Ainda em concordância com a biologia da avifauna em geral, na Coruja-do-mato atribui-se ao macho a maior contribuição tanto na seleção como na defesa territorial, emancipando os machos como os elementos vocalmente mais dotados para a espécie. Adicionalmente, sustenta-se que a vocalização da fêmea é menos consistente e de carácter ocasional, reservando-o especialmente aos eventos em dueto vocal com o macho (Cramp 1985). Segundo Galeotti (1998) os seus *hoots* são compostos por 4 notas e são mais roucos (característica de apreciação qualitativa, a ter em conta na eventual discriminação *per* ouvido humano) do que os emitidos pelos seus machos. Em contraste, Stadler (1945) citado por Galeotti (1998) refere que os *hoots* dos machos apresentam uma tonalidade mais pura e a nota final é caracterizada por um distinto vibrato revelando um caimento da cauda (“DHLt”, parâmetro em estudo). Estas assunções serão tidas em conta na análise das vocalizações entre géneros, contudo procurar-se-ão características mensuráveis (mais exatas) como, por exemplo, a variação da frequência e comparação de tempos nas unidades de canto. A inspeção da frequência (Hz) nos sinais acústicos faz absoluto sentido na procura de variações e é reforçada pela diferença de peso entre sexos, apresentando a fêmea um tamanho superior aos machos conspecíficos e segundo, por exemplo, Cardoso & Price (2010) referem que o tamanho corporal está negativamente correlacionado com os parâmetros vocais de frequência, a saber, espécies ou indivíduos maiores vocalizam a frequências mais baixas.

Neste sentido, utilizando os mesmos parâmetros referidos anteriormente e sumariados na Tabela 6, visou-se comparar a estrutura quantitativa da vocalização de machos e fêmeas numa abordagem de pares. Assim, como hipótese mais ambiciosa pretende-se testar se há indícios de convergência vocal entre elementos do mesmo par.

3.3.3.5 Fidelidade territorial

Perante o facto de se possuir gravações dos mesmos territórios em anos diferentes, épocas reprodutivas de 2010 e 2012, levanta a hipótese dos sinais acústicos gravados pertencerem aos mesmos indivíduos, tendo como fator o tempo. Assim, pretendeu-se averiguar se um mesmo indivíduo se mantém fiel ao território em dois anos diferentes, pela indicação da constância na sua vocalização (Cramp 1985; Galeotti & Pavan 1991).

3.3.4. Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas no software SPSS® 17 e Primer 6 & Permanova® β17. Foram averiguados os pressupostos dos testes parâmetros, a saber a através do teste de normalidade W de Shapiro Wilk e de homogeneidade de variâncias de Levene (Zar 1999), verificando-se que os dados não cumprem os pré-requisitos. Assim, procedeu-se à normalização dos dados (via Primer), como um pré-tratamento ou medida de standardização para a aplicação de testes parâmetros, mais robustos que os não paramétricos (Martin & Bateson 2009). Nos casos, em que não se adequaram os testes paramétricos, utilizaram-se os seus oponentes (e.g. na correlação de Spearman). O nível de significância considerado foi de $\alpha = 0,05$ para todos os testes estatísticos, à exceção do testes de Kolmogorov-Smirnov e de Wicoxon gerado com considerou um valor crítico de 0,01.

- Descrição geral da vocalização

Numa primeira abordagem foi efetuada a análise exploratória dos dados, com referência à média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão e amplitude para todos os parâmetros acústicos no total de 161 sons selecionados. Decorrente desta análise foi calculado o coeficiente de variação (CV) para cada componente. O uso de CV visou verificar o grau de estereotipia dos vários parâmetros [donde, $CV (\%) = (\text{desvio padrão}/\text{média}) \times 100$] (Zar 1999).

- Fatores abióticos

Para obter o sentido de influência dos fatores abióticos nos parâmetros do *hooting* da Coruja-do-mato recorreu-se à correlação de Spearman (Fowler & Cohen 1999; Zar 1999).

- Duetos vocais

Neste ponto urge primeiramente distinguir indivíduos machos de fêmeas com o menor erro associado possível, assim tratando o caso de eventos em dueto (7 pares selecionados, num total de 112 sons) poder-se-á comparar as componentes das vocalizações entre género. Para tal foi efetuada uma análise aglomerativa hierárquica (*cluster*), com o objetivo de agrupar indivíduos admitindo que existe um grau de similaridade entre sexos. Genericamente, um *cluster* tenta resumir uma grande quantidade de informação e apresenta-a sob a forma de um dendrograma de fácil visualização da separação entre grupos. A escolha dos índices de similaridade foi com base no carácter morfométrico dos dados (parâmetros vocais mensuráveis em tempo e frequência), assim adequa-se o uso do coeficiente de distância métrico – distância euclidiana (Dillon & Goldstein 1984). Foi, ainda, realizada uma análise de componentes principais (PCA) aos indivíduos dos pares com o objetivo de verificar a variação entre género e quais as componentes da vocalização que contribuem amplamente para a sua distinção. Posteriormente, para averiguar a hipótese da convergência da vocalização entre indivíduos do mesmo par efetuou-se teste de Dunnett para a análise de comparações múltiplas aos parâmetros acústicos entre pares, tendo como grupo de controlo a fêmea de cada par comparada com todos os machos da amostra. A hipótese nula estabelecida traduz-se na homogeneidade de variância entre indivíduos, ou seja, $H_0: \text{variância} (\sigma^2) A1 = \sigma^2 A2$, sendo A a representação nominal do mesmo par. A variância é aqui aplicada como sinónimo de heterogeneidade vocal, logo relacionada com a não convergência de indivíduos. Foi também aplicado, um teste t para amostras independentes, à incidência das componentes intra e extra-par (Zar 1999).

- A individualidade da vocalização – variações intra e inter-individuais

Depois de discriminados machos de fêmeas, realizou-se novamente um *cluster* hierárquico, nos mesmos moldes, mas agora à população por forma a averiguar se nos territórios defendidos apenas por um elemento, se seriam todos machos, assumindo a plasticidade de demarcação entre género *à priori*.

De forma a comparar a variabilidade de cada parâmetro dentro de cada indivíduo com a variabilidade de entre indivíduos foi estabelecida a razão: CV total (inter-individual) / média do CV de cada coruja (intra-individual). Quanto à análise, se o valor obtido for maior que 1 para um dado parâmetro, então este item é relativamente mais variável entre indivíduos e poderá assumir um papel discriminatório relevante entre os diferentes indivíduos. Ainda, foi realizada uma ANOVA (one way) a cada parâmetro para todos os indivíduos com a finalidade de testar se estes variam significativamente dentro da população como um seguro pressuposto para a posterior análise discriminante.

O PCA é uma análise multivariada utilizada para reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados sem que se perca informação relevante (Dillon & Goldstein 1984). A finalidade deste teste é resumir a informação das características estruturais das vocalizações em menos variáveis do que do ponto de partida, com base no seu contributo para a variação. Com base neste pressuposto realizou-se uma PCA a toda a população amostrada (16 indivíduos).

Dado que o número de parâmetros acústicos analisado é elevado realizou-se uma abordagem multivariável à na questão da individualidade das vocalizações da Coruja-do-mato. A análise discriminante (DFA – *discriminant function analysis*) é um método estatístico largamente aplicado em estudos de individualidade (Galeotti & Pavan 1991; Peake et al. 1998; Freeman 2000; Chumbinho 2002; Rognan et al. 2009) e possibilita uma avaliação quantitativa da distinção entre indivíduos.

Em particular o método usado foi a análise discriminante linear (LDA), que se caracteriza por ser um método de aprendizagem supervisionado onde há um conhecimento prévio da adesão do conjunto de objetos aos grupos. A “regra” associada a cada um dos grupos é definida pelas funções discriminantes canónicas que representam combinações lineares das variáveis originais (parâmetros acústicos) que mais contribuem

para a separação de grupos (cada indivíduo) (Dillon & Goldstein 1984; Hair et al. 1998). Os coeficientes canónicos gerados facultam a informação acerca da contribuição relativa para a discriminação de cada uma das funções obtidas. Por sua vez, os coeficientes estruturais indicam quão fortemente cada variável se relaciona com cada função descrita (Hair et al. 1998). As funções discriminantes decorrentes do teste são utilizadas para classificação das vocalizações como pertencentes a determinados grupos, neste caso indivíduos. A percentagem de sons classificada corretamente, entenda-se sucesso de classificação, pode ser interpretada como uma medida para avaliar quão perfeitamente as combinações lineares das variáveis originais distinguem indivíduos diferentes (Dillon & Goldstein 1984; Hair et al. 1998). Genericamente, a análise discriminante cria uma equação a qual minimiza a possibilidade de atribuir de forma errada casos (sons) nos respetivos grupos ou categorias (indivíduos). Foram realizadas duas abordagens à análise discriminante uma análise discriminante linear (*enter independent together*) para o total da amostra com a respetiva validação do teste por cross-validation (*leave-one-out classification*) que facultava uma classificação mais realista, com maior precisão. Com esta opção, cada caso é classificado usando uma função discriminante com base em todos os casos, exceto o caso considerado (Favretto et al. 1999). O facto deve proporcionar uma melhor estimativa dos resultados face à classificação inicial em toda a amostra.

A análise gerada utilizou probabilidades *à priori* iguais para todos os indivíduos ao longo do processo classificativo, refletindo uma classificação devido ao acaso (Hair et al. 1998).

De forma a solucionar o problema da multicolinearidade, que pode enviesar a discriminação devido às elevadas correlações entre variáveis, efetuou-se a LDA nos mesmos moldes mas, desta vez, com os scores da PCA anteriormente realizadas (Næs & Mevik 2001), que funcionam como novas variáveis pois são transformadas lineares das variáveis originais. Foi, novamente, aplicado o método de cross-validation como verificação da precisão da classificação.

- Fidelidade de território

Com base nas gravações de indivíduos no mesmo território em dois anos diferentes (2010 e 2012), realizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para averiguar a variabilidade de cada parâmetro acústico ao longo do tempo. Posteriormente aplicou-se aos dados a LDA e a sua verificação por cross-validation de forma a avaliar a sobreposição ou similaridade das vocalizações dos indivíduos ao longo do tempo. Ainda para testar a hipótese da presença da fêmea como variável na estrutura da vocalização do conspecífico do par efetuou-se o teste de Wilcoxon.

3.4 Resultados

Os resultados subsequentes referem-se a análise da vocalização territorial da Coruja-do-mato em relação aos fatores abióticos registados aquando dos apontamentos vocais. Seguidamente, efetua-se a comparação dos parâmetros vocais entre casal, dueto vocal macho-fêmea, com os machos de toda a população amostrada com o intuito de inferir sobre indícios de convergência vocal entre pares.

Numa segunda abordagem sucede-se a análise da variação intra e inter-individual da vocalização da Coruja-do-mato como constatação preliminar da discriminação de indivíduos. Por fim, para os territórios com respostas em duas épocas reprodutivas diferentes (2010 e 2012) avalia-se a estabilidade no indivíduo quanto ao território e em simultâneo eleva-se o reconhecimento individual como ferramenta na validação de censos.

3.4.1 Análise acústica

3.4.1.1 Descrição geral da vocalização territorial

A vocalização territorial da Coruja-do-mato é constituída por uma série de *hoots*, podendo entender-se esse conjunto de 3 notas (*standard*) como uma unidade com carácter repetitivo relativamente regular, mas variável em concordância, por exemplo, como o grau de excitação do indivíduo ou por outros fatores motivacionais. Este tipo de vocalização foi observado em algumas situações, nomeadamente em interação com a

fêmea, em interação com outros machos a título espontâneo (sem intervenção do *playback* num momento inicial), em resposta a um macho intruso simulado de territórios não contíguos (esquema de emissão) e ainda em interação com as crias/juvenis. Todavia, foi a interação com a fêmea, ou seja em dueto vocal, em resposta ao *playback* a situação mais frequente (75%). Notar que no que respeita à resposta vocal das fêmeas foi registada a vocalização territorial (*hooting*) assim como a vocalização de contato (“kewick”) e a manifestação de excitação/agressividade “Gueck” (Anexo V).

Face aos *hoots*, estes apresentam uma formante fundamental e, na maioria dos casos, uma estrutura harmónica, sendo as frequências das harmónicas múltiplos inteiros da frequência fundamental. A harmónica de frequência mais elevada visível foi a sexta, registada em gravações de especial qualidade e proximidade do indivíduo (Figura 11). A energia distribui-se entre os 280 Hz (frequência mínima mais baixa) (Tabela 7) e os 5690 Hz (frequência máxima aproximada da 6ª harmónica) aproximadamente para o total da população estudada.

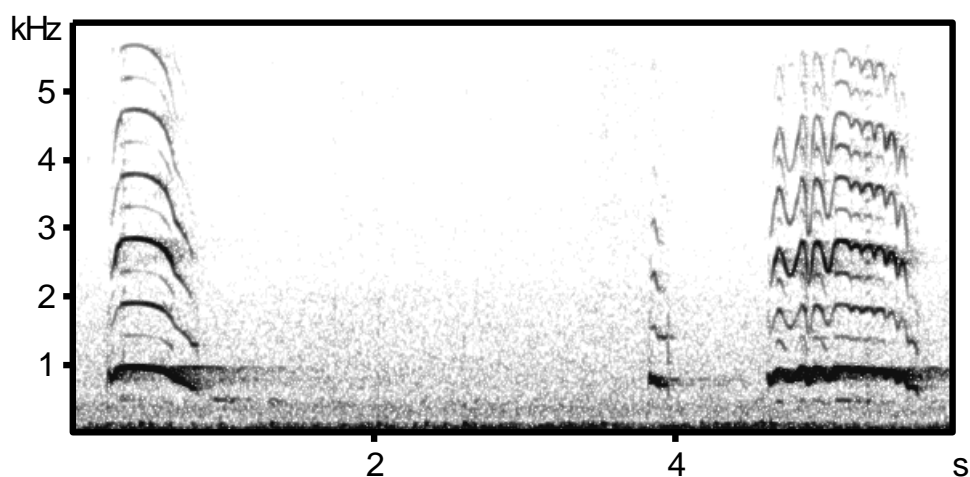


Figura 8. Espectrograma ilustrativo da harmónica visível mais elevada (6ª harmónica).

Verificam-se pequenas variações ao nível da primeira nota, um breve pico ascensional, na primeira metade por vezes acompanhado de uma banda de ruído que dificulta a medição de frequências, daí não se realizar uma análise aprofundada a adensar o facto de não se repetir o suficiente, por forma, a termos dados comparáveis. Face à segunda nota, frequentemente não surgiu no *hoot* dos indivíduos, mostrando ser um traço plástico e

inconsistente na vocalização da coruja, uma vez que foram detetados casos com a repetição da nota II duas e até três vezes.

Face à análise exploratória dos parâmetros, primeiramente ao nível temporal, verifica-se que a primeira nota apresentou uma duração média de $661,95 \pm 101,58$ ms, a nota II registou uma média de $128,65 \pm 41,51$ ms e por sua vez a nota III caracterizou-se por uma duração média de $115,79 \pm 254,60$ ms. Relativamente aos intervalos, o I1 foi em média $3337,77 \pm 1102,82$ ms, o I2 de $3875,48 \pm 1112,12$ ms e o I3 registou o valor médio de $544,25 \pm 141,06$ ms. Ao nível da primeira porção da nota III, o FML apresentou a média de $448,40 \pm 93,03$ ms e na segunda metade vibrátil, a TAIL, o valor de $720,79 \pm 217,06$ ms. O comprimento total do *hoot*, o DTOT, foi marcado pela média de $5742,78 \pm 886,56$ ms. Seguidamente, no âmbito das frequências a FF da primeira nota foi de $896,83 \pm 47,545$ ms, a HF de $972,69 \pm 47,926$ ms, LF foi em média $540,87 \pm 59,993$ ms e a DHL $429,40 \pm 59,842$ ms. Por fim, o DHLt, revelando o caimento da TAIL, exibiu a média $380,11 \pm 62,034$ ms (Tabela 7).

Tabela 7. Análise exploratória para os parâmetros da vocalização considerados na global amostra de hootings (n = 161).

n = 161	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Amplitude
D1 (ms)	661,95	660	460	960	101,58	500
D2	128,65	120	70	300	41,51	23
D3	1157,90	114	120	1810	254,60	169
I1	3337,77	2940	1450	5570	1102,82	4120
I2	3875,48	3550	1784	6100	1112,12	4316
I3	544,25	550	160	930	141,06	770
FML	448,40	450	340	1250	93,03	910
TAIL	720,79	660	330	1370	217,06	1040
DTOT	5742,78	5570	3800	7880	886,56	4080
FF (Hz)	896,83	900,00	700,00	980,00	47,545	280,00
HF	972,69	970,00	870,00	1120,00	47,926	250,00
LF	540,87	550,00	280,00	660,00	59,993	380,00
DHL	429,40	430,00	280,00	580,00	59,842	300,00
DHLt	380,11	370,00	260,00	530,00	62,034	270,00

No que respeita ao nível de estereotipia dos parâmetros em estudo, os valores apresentados na Tabela 8 indicam que a frequência máxima (HF) foi o parâmetro que menor variação sofreu, seguindo-se imediatamente a FF, enquanto o I1, a D2 e a TAIL foram os menos estereotipados (CV mais elevados).

Ainda é de referir, que os parâmetros de frequência mínima e máxima da primeira nota situaram-se, em média, entre 541 e os 973 Hz (Tabela 7 e 8).

Tabela 8. Média e coeficientes de variação dos parâmetros vocais para o total da população (n = 161).

n = 161	Média	CV (%)
D1 (ms)	661,95	15,35
D2	128,70	32,25
D3	1157,90	21,98
I1	3337,77	33,04
I2	3875,48	28,70
I3	544,25	25,92
FML	448,40	20,75
TAIL	720,79	30,16
DTOT	5742,78	15,42
FF (Hz)	896,83	5,30
HF	972,69	4,93
LF	540,87	11,09
DHL	429,40	13,94
DHLt	380,11	16,32

3.4.1.2 Fatores abióticos

Relativamente aos fatores abióticos verificou-se que há uma influência significativa da temperatura na D2, D3, I1, HF e muito significativa na I2, TAIL e DTOT. As fases lunares apresentaram-se correlação essencialmente muito significativa com todos os parâmetros à exceção da D2 e DHL. O ruído manifestou influência muito significativa no I1, I2, FML, TAIL, DTOT, DHLt e apenas significativas ao nível da D1 e D3. Por sua vez, o vento expressou correlação, genericamente, muito significativa com todas as componentes excetuando a D2, I3, HF e DHLt. Já a nebulosidade indicou influência muito significativa na D1, FML, FF, HF. O nevoeiro registou correlações ao nível da D2, D3, I1, I2, FML, TAIL,

LF, DHL e DHLt. Por fim, a luminosidade apresentou influência muito significativa na D2, DHL, DHLt e significativa na HF (Tabela 9).

Tabela 9. Correlação de Spearman para testar a influência dos fatores abióticos nos parâmetros acústicos da vocalização territorial da Coruja-do-mato (a cinzento as correlações moderadas).

Correlação de Spearman														
	Temp (°C)		Fases da Lua		Ruido		Vento		Nebulosidade		Nevoeiro		Luminosidade	
	Coef Corr	p- value	Coef Corr	p- value	Coef Corr	p- value	Coef Corr	p- value	Coef Corr	p- value	Coef Corr	p- value	Coef Corr	p- value
D1	0,025	0,755	-0,532**	0,000	0,167*	0,370	-0,463**	0,000	0,211**	0,007	0,007	0,928	0,149	0,059
D2	-0,198*	0,012	0,047	0,553	0,049	0,538	-0,151	0,055	0,053	0,506	0,186*	0,018	0,204**	0,010
D3	0,164*	0,038	-0,554**	0,000	0,377*	0,000	-0,496**	0,000	0,110	0,165	0,246**	0,001	0,008	0,920
I1	0,155*	0,050	0,350**	0,000	0,365**	0,000	0,245**	0,002	0,142	0,071	0,309**	0,000	0,036	0,649
I2	0,246**	0,002	0,211**	0,007	0,508**	0,000	0,344**	0,000	0,120	0,130	0,318**	0,000	-0,031	0,693
I3	-0,114	0,149	-0,399**	0,000	-0,073	0,359	-0,010	0,895	0,072	0,362	-0,049	0,535	0,111	0,162
FML	-0,066	0,404	-0,530**	0,000	0,274**	0,000	-0,396**	0,000	0,373**	0,000	0,293**	0,000	-0,097	0,219
TAIL	0,284**	0,001	-0,430**	0,000	0,336**	0,000	-0,369**	0,000	-0,045	0,573	0,214**	0,007	0,051	0,524
DTOT	0,416**	0,000	0,304**	0,000	0,327**	0,000	0,202*	0,010	-0,044	0,579	-0,071	0,369	0,044	0,577
FF	0,000	0,997	-0,291**	0,000	0,065	0,409	-0,226**	0,004	0,396**	0,000	0,112	0,156	-0,099	0,213
HF	0,184*	0,020	-0,300**	0,000	0,035	0,661	-0,096	0,226	0,205**	0,009	-0,018	0,823	0,169*	0,033
LF	-0,013	0,869	-0,163*	0,039	0,033	0,681	0,255**	0,001	0,112	0,156	0,243**	0,002	-0,111	0,160
DHL	0,124	0,118	-0,100	0,205	0,027	0,731	-0,305**	0,000	0,061	0,445	-0,199*	0,011	0,230**	0,003
DHLt	0,071	0,372	0,205**	0,009	-0,279**	0,000	-0,121	0,126	-0,067	0,400	-0,282**	0,000	0,247**	0,002

** Correlação significativa ao nível de 0.01 (2-tailed).

* Correlação significativa ao nível de 0.05 (2-tailed).

Perante a análise da tabela supracitada verifica-se que as correlações moderadas (Anexo IV) entre os parâmetros ocorre nas variáveis ambientais, temperatura, fases da lua, ruído e vento pelo serão apenas estas a serem graficadas (Figuras 12 e 13).

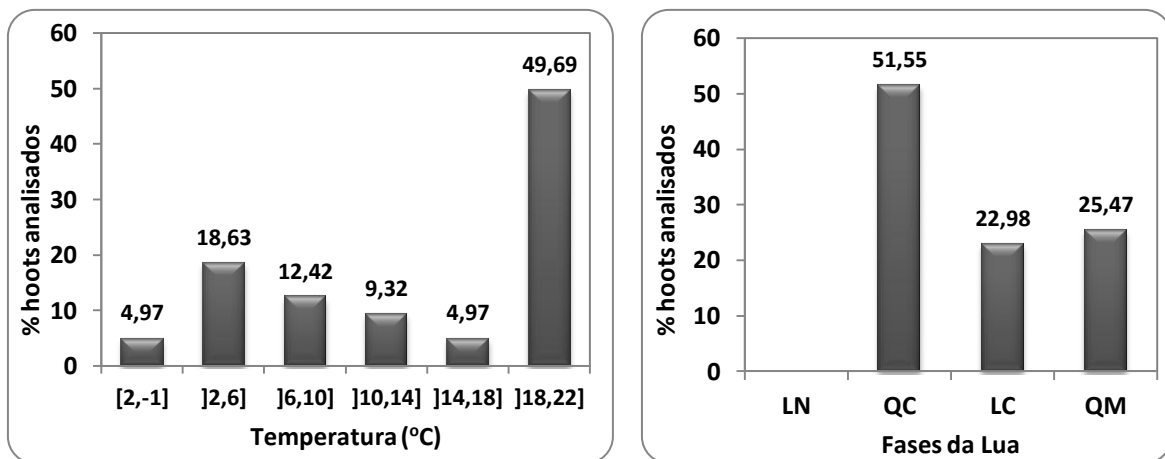


Figura 9. Distribuição das vocalizações analisadas, em percentagem, nas condições de temperatura (esquerda) e fases da lua (direita).

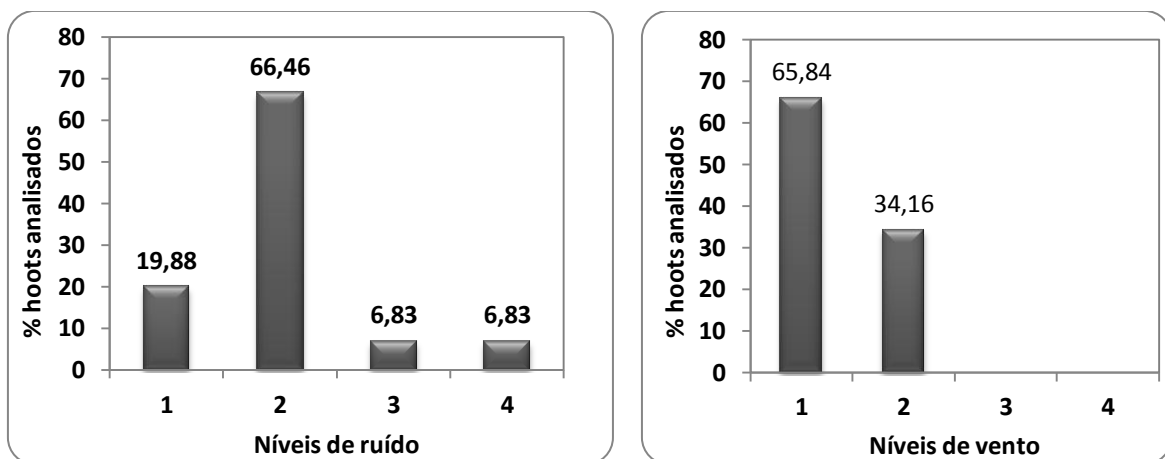


Figura 10. Distribuição das vocalizações, em percentagem, nas condições de ruído e vento.

3.4.1.2 Duetos vocais

Perante a necessidade de individualizar machos de fêmeas aquando dos eventos de dueto vocal, no caso muito frequentes (75%), a fim de aferir acerca de uma possível homogeneidade ou convergência da vocalização efetuou-se uma análise aglomerativa e eis que o resultado indica, pela observação da Figura 14 que os machos se encontram na primeira grande ramificação da esquerda e as fêmeas na da direita, por oposição.

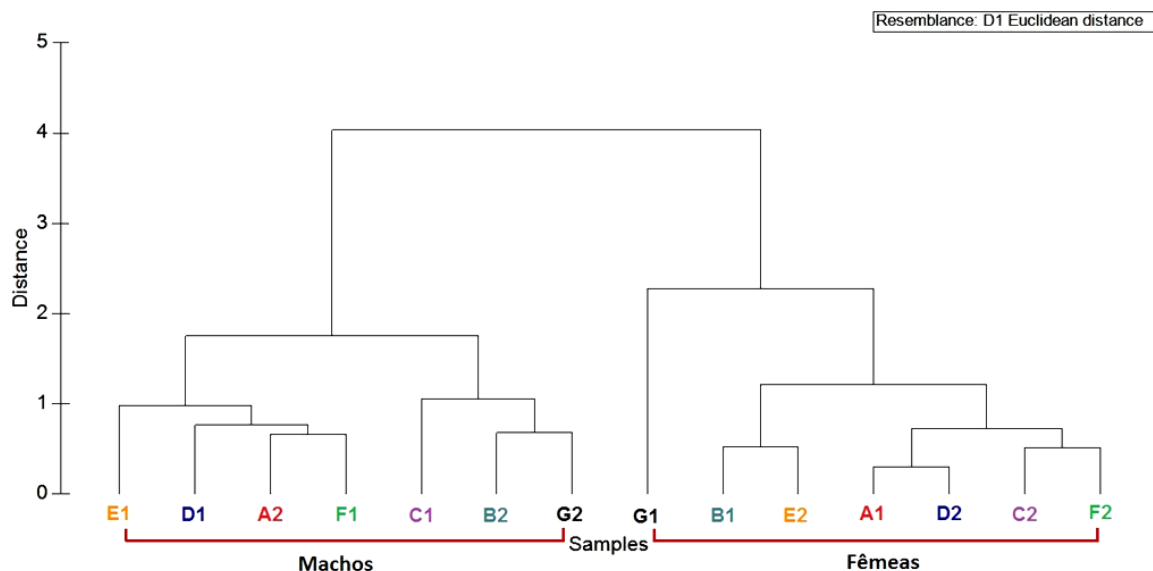


Figura 11. Cluster hierárquico dos indivíduos dos pares considerados (n pares = 7 e elementos com cores iguais representam indivíduos do mesmo casal).

Estas aferições foram tiradas com base nos seguintes pressupostos:

- a frequência da vocalização em indivíduos maiores (as fêmeas) é mais baixa (Cardoso & Price 2010) (Figura 15);
- a existência de uma elevada queda do final da nota III nos machos (Galeotti 1998).

A presença de quatro notas no *hooting* como característica da vocalização da fêmea (Galeotti 1998) foi refutada dado que foram observados machos a emitir quatro notas.

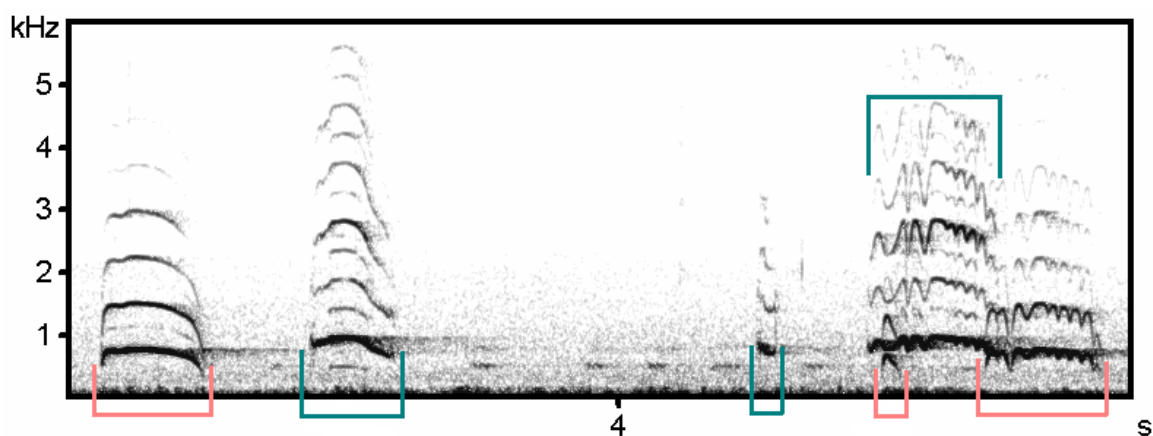


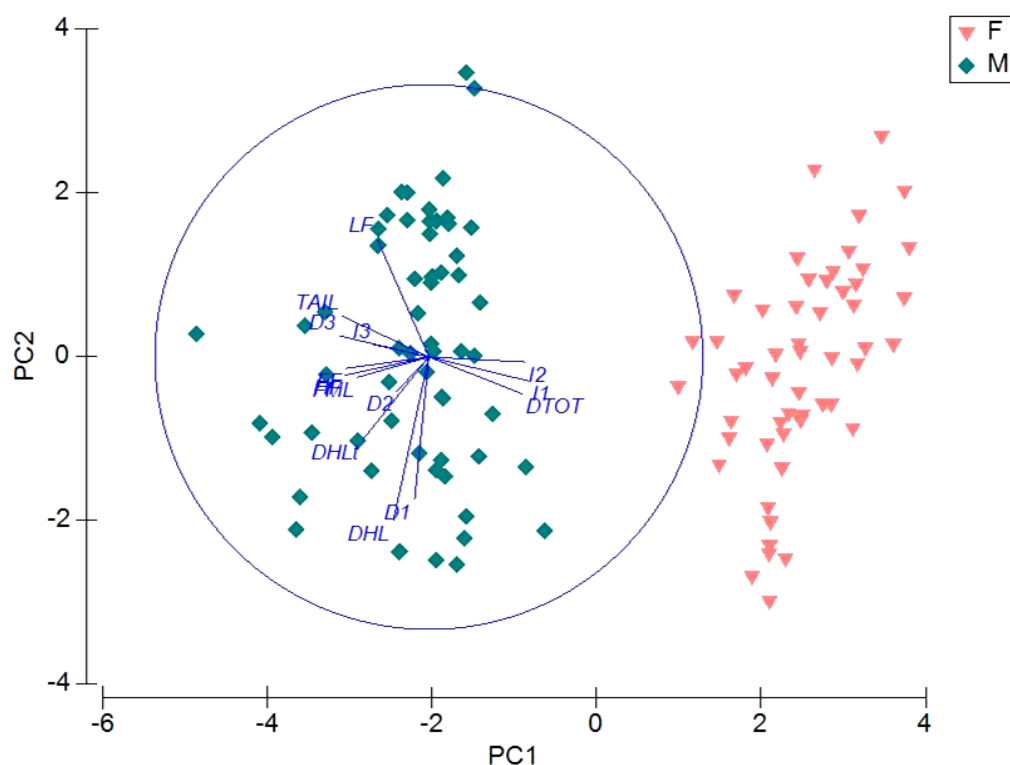
Figura 12. Sonograma ilustrativo das diferenças vocais presentes entre sexo (fêmea e macho).

Com base na Tabela 10 é encontrada uma tendência entre gênero, os machos apresentam *hoots*, em média, mais curtos, frequências mais altas (todos os parâmetros de frequência) e um caimento da TAIL maior comparativamente às fêmeas. Estas, contrariamente, exibem *hoots* mais longos, a frequências mais baixas e uma menor queda da TAIL.

Tabela 10. Médias dos parâmetros acústicos para os machos e fêmeas (a negrito as variáveis mais relevantes na distinção de sexos).

n = 112	Macho (média)	Fêmea (média)
D1 (ms)	698,06	672,31
D2	141,97	112,10
D3	1149,30	828,85
I1	2513,09	4991,41
I2	2945,27	5329,49
I3	571,47	472,25
FML	487,13	353,28
TAIL	691,73	492,57
DTOT	5148,00	7123,62
FF (Hz)	894,70	767,65
HF	958,28	836,29
LF	511,75	434,06
DHL	439,57	402,23
DHLt	386,00	309,53

A PCA (Figura 16) extraiu cinco componentes que contabilizam 86.1% da variação vocal entre sexos, sendo que a PC1 é a componente que melhor explica a variação dos dados com uma expressão de 43.7%. A PC1 foi associada aos seguintes parâmetros D3, I1, I2, TAIL, DTOT, FF e HF, com os coeficientes -0.326, 0.366, 0.351, -0.316, 0.339, -0.303 e -0.305, respetivamente. É de referir ainda o parâmetro DHLt uma vez que apresenta os coeficientes na PC1 de -0.243 e na PC2 de -0.306.



PC	Eigenvalues	%Variação	Cum. %
1	0,11	43,7	43,7
2	1,92	13,7	57,4
3	1,67	11,9	69,3
4	1,56	11,2	80,5
5	0,784	5,6	86,1

Figura 13. Representação da análise de componentes principais (PCA) para os 7 casais com base nos parâmetros acústicos.

Segundo, o teste de Dunnett para a análise da homogeneidade de variâncias entre indivíduos do par verificou-se que os parâmetros D2, I3, FML, LF e DHL evidenciam uma tendência de repetição (4 a 5 vezes) nos elementos do mesmo par (Tabelas 11 e 12). Este facto leva à não rejeição de H_0 , ou seja, poder-se-á assumir que para as variáveis referidas indiciam que as vocalizações são mais semelhantes entre macho e fêmea dentro do par do que extra-par, tendo as fêmeas como controlo e a análise tendo sido feita individualmente para o par face à população de casais.

Tabela 11. Teste de Dunnett para a análise de comparações múltiplas aos parâmetros acústicos entre pares, tendo como grupo de controlo a fêmea de cada par comparada com todos os machos da amostra ($P=0,05$) (em destaque os parâmetros mais constantes em casais).

<i>Teste de Dunnett</i>				
Pares	Parâmetros	Diferenças das médias	Erro standard	p-value
A2-A1	D1	0,522	0,214	0,094
	D2	0,626	0,395	0,464
	LF	-0,271	0,319	0,933
B2-B1	D2	0,376	0,395	0,858
	D3	0,795	0,388	0,191
	I3	0,151	0,362	0,998
	FML	0,791	0,448	0,320
	TAIL	0,541	0,224	0,091
	DHL	-0,787	0,402	0,229
C1-C2	D2	0,502	0,366	0,617
	I3	0,280	0,330	0,933
	LF	0,417	0,293	0,579
	DHLt	0,249	0,295	0,935
D1-D2	I3	1,084	0,485	0,107
	FML	0,689	0,607	0,641
	LF	0,548	0,548	0,524
	DHL	0,752	0,552	0,483
E1-E2	D2	0,086	0,352	0,999
	FML	0,794	0,469	0,374
	DHL	1,053	0,438	0,096
F1-F2	D1	0,514	0,251	0,212
	D3	1,173	0,453	0,065
	TAIL	0,444	0,270	0,425
	LF	0,695	0,387	0,333
	DHL	1,198	0,506	0,109
G2-G1	D2	-0,740	0,481	0,507
	I3	0,502	0,401	0,186
	FML	0,315	0,406	0,130
	HF	0,702	0,163	0,137
	DHL	-0,772	0,369	0,198
	DHLt	0,036	0,292	0,977

Falta avaliar globalmente a verificação anterior, ou seja, comparando as fêmeas de cada par com os restantes machos. Assim, observa-se que a tendência inicial não é expressa para os restantes casos, visto que a incidência dos parâmetros intra-par e extra-par foi significativamente diferente ($P < 0,05$), para todos os casos à exceção do LF, contudo com uma diferença percentual bastante elevada (Tabela 12).

Tabela 12. Incidência dos parâmetros vocais mais representativos da hipotética homogeneidade da vocalização entre género, intra e extra-par (onde * indica que os parâmetros são significativamente diferentes, segundo o teste t).

n = 112	D2	I3	FML	LF	DHL
<i>Intra-par</i>	71% (n = 5)*	57% (n = 4)*	57% (n = 4)*	71% (n = 5)	71% (n = 5)*
<i>Extra-par</i>	59% (n = 25)*	33% (n = 14)*	50% (n = 21)*	33% (n = 14)	50% (n = 21)*

3.4.1.3 A individualidade da vocalização – variações intra e inter-individuais

Uma vez encontrado um padrão de distinção entre machos e fêmeas com base nos duetos vocais, efetuou-se uma análise aglomerativa *cluster* para a totalidade da população amostrada (n = 23, donde 16 indivíduos serão discriminados e as 7 fêmeas constituintes dos 7 pares). O dendrograma (Figura 17) indica claramente dois grupos, uma vez mais agrupando os indivíduos por sexo. Com efeito, verifica-se que os seguintes territórios Frv, Mmt, Cnv e CER_E fazem parte do conjunto das fêmeas.

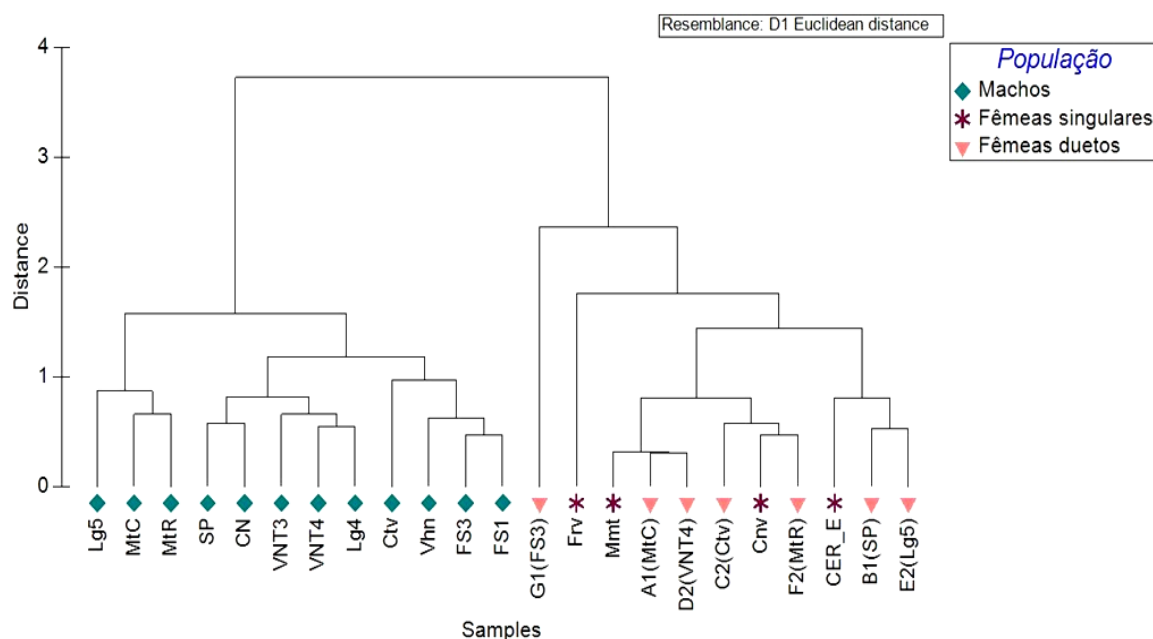


Figura 14. Cluster hierárquico do número total de indivíduos amostrados.

A razão $CV_{\text{inter-individual}}/CV_{\text{médio intra-individual}}$ indicou que todos os parâmetros acústicos foram mais variáveis entre os indivíduos do que dentro da mesma ave. Assim, os 14 parâmetros apresentaram-se potencialmente relevantes na discriminação entre diferentes indivíduos, com especial atenção para o I2, I1 e DTOT (resultado superior) (Tabela 13).

Tabela 13. Variabilidade dentro de cada indivíduo e entre indivíduos (CV) e correspondente razão para os 14 parâmetros acústicos considerados.

	$CV_{\text{médio Intra-ind}}$ (%)	$CV_{\text{inter-ind}}$ (%)	$CV_{\text{inter-ind}}/ CV_{\text{médio intra-ind}}$
D1 (s)	4,39	15,35	3,50
D2	14,93	32,25	2,16
D3	6,90	21,98	3,19
I1	6,39	33,04	5,17
I2	5,15	28,70	5,57
I3	11,82	25,92	2,19
FML	7,01	20,75	2,96
TAIL	7,57	30,16	3,99
DTOT	3,30	15,42	4,67
FF	2,11	5,30	2,51
HF	2,22	4,93	2,23

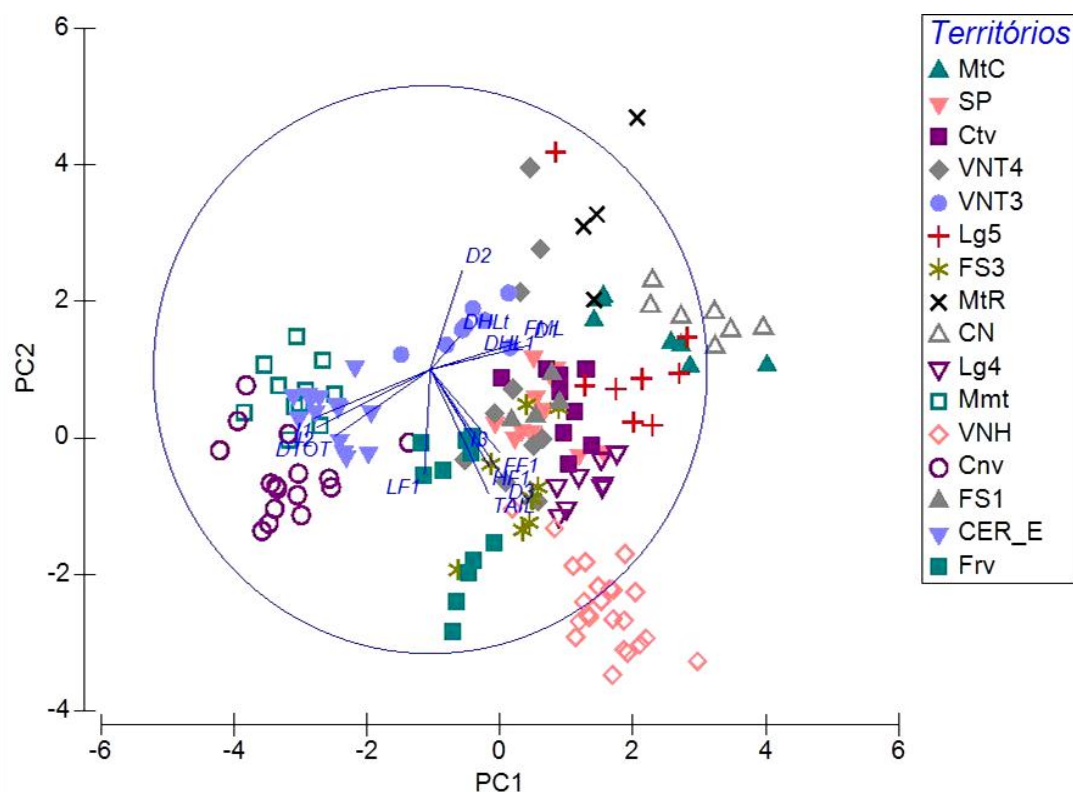
LF	7,29	11,09	1,52
DHL	10,38	13,94	1,34
DHLt	11,41	16,32	1,43

Ainda, a ANOVA (one way) a cada parâmetro acústico para todos os indivíduos mostrou que existem diferenças altamente significativas entre indivíduos (Tabela 14), o que indica ser uma pré-verificação da capacidade discriminatória das variáveis de estudos.

Tabela 14. Análise de variância univariada para os 14 parâmetros acústicos selecionados.

Análise de Variância Simples (ANOVA)		
	Teste $F_{14,145}$ (F obs)	P-value <
D1	98,200	0,000
D2	25,164	0,000
D3	23,705	0,000
I1	293,577	0,000
I2	290,067	0,000
I3	12,43	0,000
FML	14,93	0,000
TAIL	82,67	0,000
DTOT	166,836	0,000
FF	27,221	0,000
HF	25,534	0,000
LF	11,065	0,000
DHL	6,048	0,000
DHLt	8,567	0,000

A seguinte PCA (Figura18) para a população alvo de posterior reconhecimento (n = 16, 161 sons), extraiu cinco componentes que consideram 28,2% da variação vocal entre indivíduos, sendo que a PC1 é a componente que melhor explica a variação dos dados com um resultado de 28,2%.



PC	Eigenvalues	%Variação	Cum. %
1	3,95	28,2	28,2
2	2,34	16,7	44,9
3	2,25	16,1	61,1
4	1,55	11,1	72,1
5	1,45	10,3	82,5

Figura 15. Representação da análise de componentes principais (PCA) para os 16 indivíduos com base nos parâmetros acústicos.

Pela análise da Tabela 15 constata-se que a PC1 foi associada a parâmetros temporais, a saber, D1, I1, I2, FML e DTOT, que a PC2 foi representada pelas variáveis temporais D2, D3, TAIL e pelas medidas de frequência HF e LF. Por sua vez, a PC3 foi relacionada com o DTOT, I3 que são mensuráveis numa escala de tempo e HF, DHL e DHLt ao nível da frequência. Ainda a PC4 foi mais representativa nas variáveis acústicas I3, DHL e DHLt e, por fim, a PC5, associada maioritariamente a parâmetros temporais, a D2, D3, I3 excetuando a DHLt que também se expressou com relevância nesta componente.

Tabela 15. Coeficientes (loadings on factors) dos parâmetros acústicos extraídos pela PCA (considerados os coeficientes > 0,3).

Parâmetros	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
D1	0,360				
I1	-0,418				
I2	-0,412				
FML	0,327				
DTOT	-0,346		0,316		
D2		0,350			-0,414
D3		-0,388			-0,356
TAIL		-0,436			
HF		-0,340	0,360		
LF		-0,369			
I3			-0,307	-0,318	0,422
DHL			0,495	-0,347	
DHLt			0,354		0,458
FF				0,579	

A primeira análise discriminante linear (LDA) efetuada para 161 *hoots*, o total da amostra, evidenciou uma consistente separação entre grupos baseada num poder discriminatório altamente significativo de todas as variáveis em estudo (Tabela 16).

Tabela 16. Significância dos parâmetros acústicos (variáveis) na discriminação entre os 16 indivíduos (grupos).

Parâmetros	F _{15,145}	p<
D1	98,200	0,000
D2	25,164	0,000
D3	23,705	0,000
I1	293,578	0,000
I2	290,067	0,000
I3	12,243	0,000
FML	14,194	0,000
TAIL	82,868	0,000
DTOT	166,836	0,000
FF	27,221	0,000
HF	25,534	0,000

LF	11,065	0,000
DHL	6,048	0,000
DHLt	8,567	0,000

Este teste gerou 14 funções discriminantes canónicas significativas, das quais as 7 primeiras apresentam *eigenvalues* superiores a 1.0 e explicando 99.1 % da variação acústica total entre indivíduos. Os baixos valores para o Wilk's λ para as funções geradas indicam um elevado poder discriminante nos parâmetros considerados (quão mais baixos os valores de Wilk's λ , maior o poder discriminante da função) (Tabela 17).

Tabela 17. Estatísticas do teste de seleção de funções discriminantes.

Funções	<i>Eigenvalue</i>	% de variância	% de variância cumulativa	Correl canónica	Wilk's λ	χ^2	g.l.	p<
1	115,495	58,3	58,3	0,996	0,000	2883,020	210	0,000
2	40,803	20,6	78,9	0,988	0,000	2193,132	182	0,000
3	15,951	8,0	86,9	0,970	0,000	1651,851	156	0,000
4	10,305	5,2	92,1	0,955	0,000	1241,451	132	0,000
5	8,882	4,5	96,6	0,948	0,002	889,792	110	0,000
6	3,489	1,8	98,3	0,882	0,021	557,636	90	0,000
7	1,444	0,7	99,1	0,769	0,096	339,902	72	0,000

Com base na inspeção dos coeficientes canónicos uniformizados verificou-se que as variáveis que mais contribuíram para a discriminação com base na 1ª função foram o I1, I2 e DTOT, nas 2ª, 3ª e 4ª funções as mais contribuintes foram a I1 e I2, já na 5ª função o I3 e TAIL tiveram maior expressão, ainda na 6ª função as variáveis com maior poder de discriminatório foram a FF e HF e, por fim, na 7ª função foram a D2 e LF. Relativamente aos coeficientes estruturais, para 1ª função contribuíram mais fortemente o I1 e I2, na 2ª função a I1, I2 e DTOT foram mais contribuintes, na 3ª função tiveram lugar a D1 e D2, na 4ª função a D1, I2 e DTOT foram mais salientes na discriminação, por sua vez a 5ª função evidenciou a TAIL e DTOT com maior poder discriminatório, na 6ª função salienta-se a FF e HF e, por fim, a D2 e I3 denotaram os valores mais elevados (Tabela 18).

Tabela 18. Coeficientes canônicos uniformizados e coeficientes estruturais para as variáveis consideráveis nas sete primeiras funções discriminantes.

Coeficientes canônicos uniformizados								Coeficientes estruturais						
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
D1	0,352	0,607	0,602	0,517	-0,004	-0,018	-0,295	-0,049	0,320	0,387	0,541	0,069	0,021	-0,340
D2	0,476	-0,042	0,697	0,620	-0,043	-0,225	0,745	0,031	0,058	0,194	0,194	-0,145	-0,048	0,895
D3	0,105	0,103	0,281	0,111	-0,121	-0,031	-0,147	0,032	0,139	0,028	0,034	0,403	-0,051	-0,061
I1	-1,609	-1,441	3,086	-1,419	0,280	-0,362	-0,102	0,185	-0,770	0,168	0,293	0,261	0,088	-0,411
I2	4,770	1,033	-2,225	1,091	-0,373	0,287	-0,091	0,256	-0,698	-0,031	0,401	0,239	0,153	-0,449
I3	-0,168	0,000	0,713	0,192	-0,420	-0,243	-0,227	-0,023	0,072	-0,087	-0,051	0,001	-0,046	-0,602
FML	0,073	0,154	0,197	0,390	-0,229	0,002	-0,038	0,012	0,143	0,128	0,132	-0,057	0,009	-0,040
TAIL	1,037	0,342	0,049	-0,347	0,976	-0,320	0,191	0,039	0,190	-0,043	-0,053	0,861	-0,223	-0,176
DTOT	-3,226	-0,566	-0,815	0,990	0,298	0,105	0,142	-0,008	-0,539	-0,064	0,526	0,501	0,100	-0,398
FF	-0,024	0,070	0,191	-0,110	0,043	0,488	-0,124	0,001	0,093	0,126	-0,073	0,149	0,705	-0,116
HF	0,059	0,160	0,264	-0,192	0,204	0,567	-0,080	-0,012	0,054	0,089	0,043	0,238	0,702	0,073
LF	-0,063	-0,066	-0,173	0,073	0,090	0,345	-0,390	0,046	0,010	-0,062	-0,087	0,068	0,394	0,062
DHL	-0,004	-0,189	-0,454	0,012	-0,090	0,009	0,299	-0,038	0,014	0,084	0,121	0,065	0,077	0,016
DHLt	-0,094	-0,144	0,043	-0,024	-0,033	0,24	0,207	-0,046	-0,007	-0,052	0,029	-0,043	0,205	0,233

Pela análise da Figura 19, onde estão representados os coeficientes canônicos para cada *hoot* e os coeficientes médios (centro da distribuição de sons para cada indivíduo) nas duas primeiras funções discriminantes, poder-se-á observar que há uma clara separação dos indivíduos (coeficientes médios) em sete indivíduos (6, 3, 2, 15, 11, 13, 16) sendo os restantes nove apresentam uma maior similaridade de *hootings*, contudo são discrimináveis. Assim, verifica-se que estas duas dimensões, representando 78.9% da variância total (Tabela 17), produzem uma boa discriminação de indivíduos.

- Nomenclatura dos indivíduos:

1	2	3	4	5	6	7	8
MtC	SP	Ctv	VNT4	VNT3	LG5	MtR	FS3
9	10	11	12	13	14	15	16
CN	Lg4	Mmt	Vnh	Cnv	FS1	CER_E	Frv

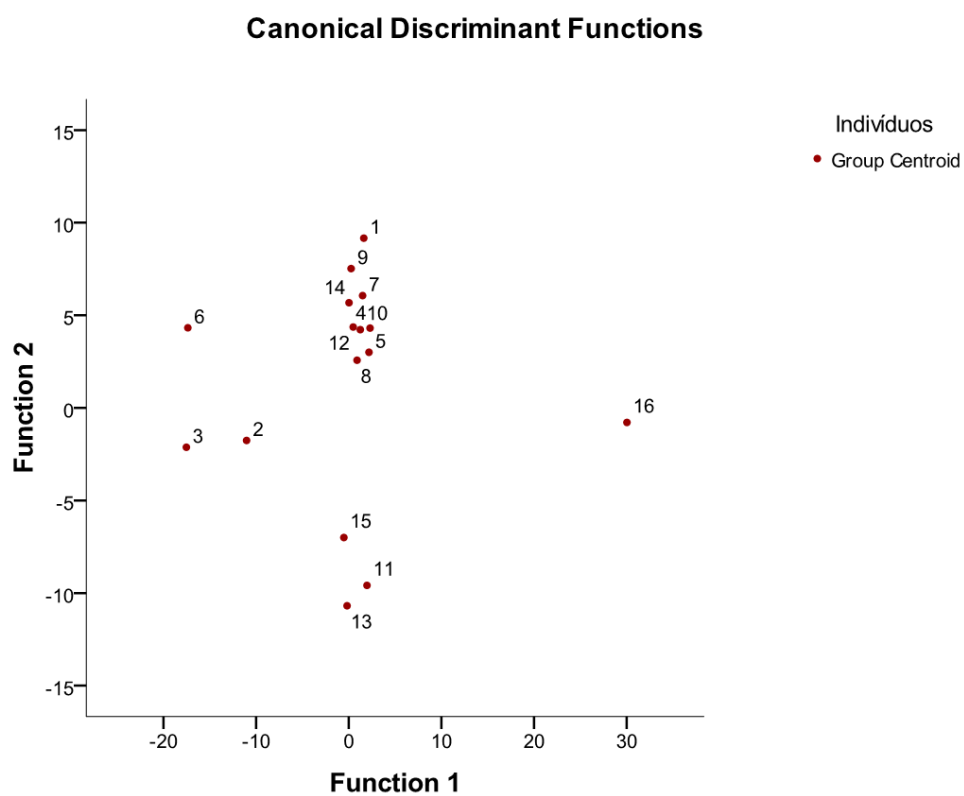
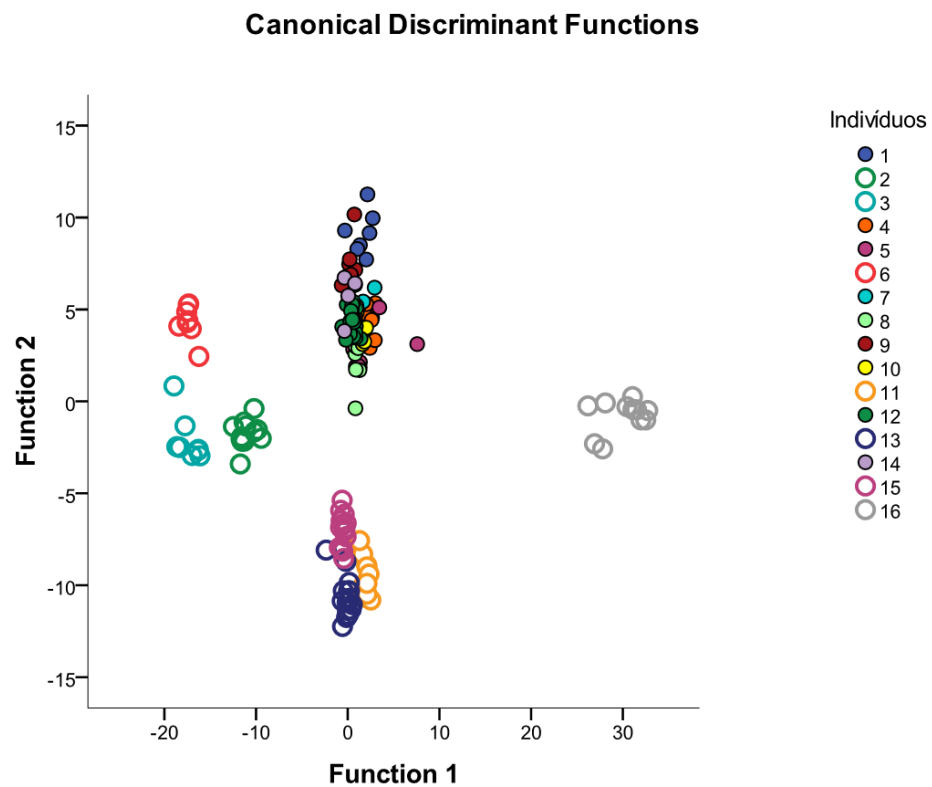


Figura 16. Representação dos coeficientes canônicos (cima) e coeficientes canônicos médios (baixo) nas duas primeiras funções discriminantes.

A percentagem de vocalizações corretamente classificadas foi de 99.4%, variando de 95.7 a 100% de classificação correta para cada indivíduo. Foi atribuída apenas uma vocalização de forma errada no total da amostra (Tabela 19). O sentido da atribuição foi do indivíduo Vhn como pertencente ao de FS3.

Tabela 19. Nº total de *hoots*, nº *hoots* corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente (16 indivíduos).

Indivíduos	Nº total de <i>hoots</i>	Nº <i>hoots</i> correct. classificados	% classificação correcta
MtC	7	7	100
SP	12	12	100
Ctv	9	9	100
VNT4	10	10	100
VNT3	8	8	100
Lg5	8	8	100
MtR	4	4	100
FS3	9	9	100
CN	7	7	100
Lg4	8	8	100
Mmt	11	11	100
Vnh	23	22	95.7
Cnv	16	16	100
FS1	4	4	100
CER_E	14	14	100
Frv	11	11	100
Total	161	160	99.4

Como método de validação da análise discriminante supracitada, foi efetuada a mesma abordagem mas pelo método cross-validation (leave-one-out classification). A percentagem de vocalizações corretamente classificadas foi de 97.5%, variando de 85.7 a 100% de classificação correta para cada indivíduo. Foram erradamente atribuídas 4 vocalizações no total da amostra (n = 161) (Tabela 20). Os erros ocorreram nos seguintes indivíduos: 1 *hoot* no MtC (colocado no CN), 1 *hoot* no VNT4 (colocado no MtR) e 2 *hoots* (1 colocado no VNT4 e outro no FS3).

Tabela 20. Nº total de *hoots*, nº *hoots* corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente (16 indivíduos) pelo método cross-validation.

Indivíduos	Nº total de <i>hoots</i>	Nº <i>hoots</i> correct. classificados	% classificação correcta
MtC	7	6	85.7
SP	12	12	100
Ctv	9	9	100
VNT4	10	9	90.0
VNT3	8	8	100
Lg5	8	8	100
MtR	4	4	100
FS3	9	9	100
CN	7	7	100
Lg4	8	8	100
Mmt	11	11	100
Vnh	23	21	91.3
Cnv	16	16	100
FS1	4	4	100
CER_E	14	14	100
Frv	11	11	100
Total	161	157	97.5

A segunda LDA efetuada para o total da amostra com base nos scores da PCA, mostrou uma forte separação entre grupos baseada num poder discriminatório altamente significativo de todas as variáveis em estudo (Tabela 21).

Tabela 21. Significância das componentes principais na discriminação entre os 16 indivíduos.

Parâmetros	F _{15,145}	p<
PC1	150,077	0,000
PC2	35,462	0,000
PC3	21,238	0,000
PC4	17,229	0,000
PC5	25,347	0,000

Esta análise gerou 5 funções discriminantes canônicas significativas que apresentam *eigenvalues* superiores a 1.0 e explicando 100% da variação acústica total entre indivíduos. Para valores mais baixos de Wilk's λ considera maior o poder discriminante, assim as três primeiras funções são as mais representativas (Tabela 22).

Tabela 22. Estatísticas do teste de seleção de funções discriminantes.

Funções	<i>Eigenvalue</i>	% de variância	% de variância cumulativa	Correl canónica	Wilk's λ	χ^2	g.l.	<i>p</i> <
1	27,902	69,2	69,2	0,983	0,000	1286,938	75	0,000
2	6,041	15,0	84,2	0,926	0,005	784,033	56	0,000
3	2,912	7,2	91,5	0,863	0,037	492,243	39	0,000
4	2,440	6,1	97,5	0,842	0,145	288,330	24	0,000
5	1,000	2,5	100,0	0,707	0,500	103,636	11	0,000

Perante a inspeção dos coeficientes canónicos uniformizados verificou-se que as PCs mais influentes no modelo de discriminação com base na 1ª função foi a PC1 que encerra em si, como parâmetros que mais contribuem para a variação da componente, a I1 e I2. Na 2ª função foi a PC5 a mais contribuinte com a variável DHLt, já na 3ª função teve maior expressão a PC4 representada pela FF. Por sua vez, na 4ª função contribui mais fortemente para a discriminação a PC2 com a TAIL como mais variável e, por fim, na 5ª função foi novamente a PC4 com a FF como maior contribuinte. Relativamente aos coeficientes estruturais a componente mais influente na discriminação no que respeita à 1ª função foi a PC1 representando as variáveis I1 e I2. Na 2ª e 4ª funções foi a PC2 com a TAIL, já na 3ª e 5ª funções foi a PC3 com o parâmetro DHL como mais contribuinte (Tabela 23 e Tabela 15).

Tabela 23. Coeficientes canônicos uniformizados e coeficientes estruturais para as variáveis consideráveis nas sete primeiras funções discriminantes.

	Coeficientes canônicos uniformizados					Coeficientes estruturais				
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
PC1	1,227	-0,204	0,062	0,011	0,055	0,701	-0,479	0,262	0,051	0,455
PC2	0,532	0,811	-0,120	0,606	0,035	0,086	-0,537	-0,144	0,822	0,082
PC3	-0,911	-0,603	0,413	0,514	0,473	-0,101	-0,014	0,618	0,187	-0,763
PC4	-0,010	-0,037	0,869	0,232	-0,549	0,000	-0,274	0,338	0,478	0,757
PC5	0,134	0,765	0,559	-0,449	0,328	0,017	0,393	0,518	-0,473	0,594

Pela análise da Figura 20, onde estão representados os coeficientes canônicos para cada *hoot* e os coeficientes médios nas duas primeiras funções discriminantes, verifica-se que há uma forte separação dos indivíduos (coeficientes médios) em todos os indivíduos, à exceção da coruja 4 e 10 que apresentam uma maior similaridade de *hootings* (sobreposição). Assim, verifica-se que estas duas dimensões, representando 84.2% da variância total (Tabela 22), produzem uma boa discriminação entre indivíduos.

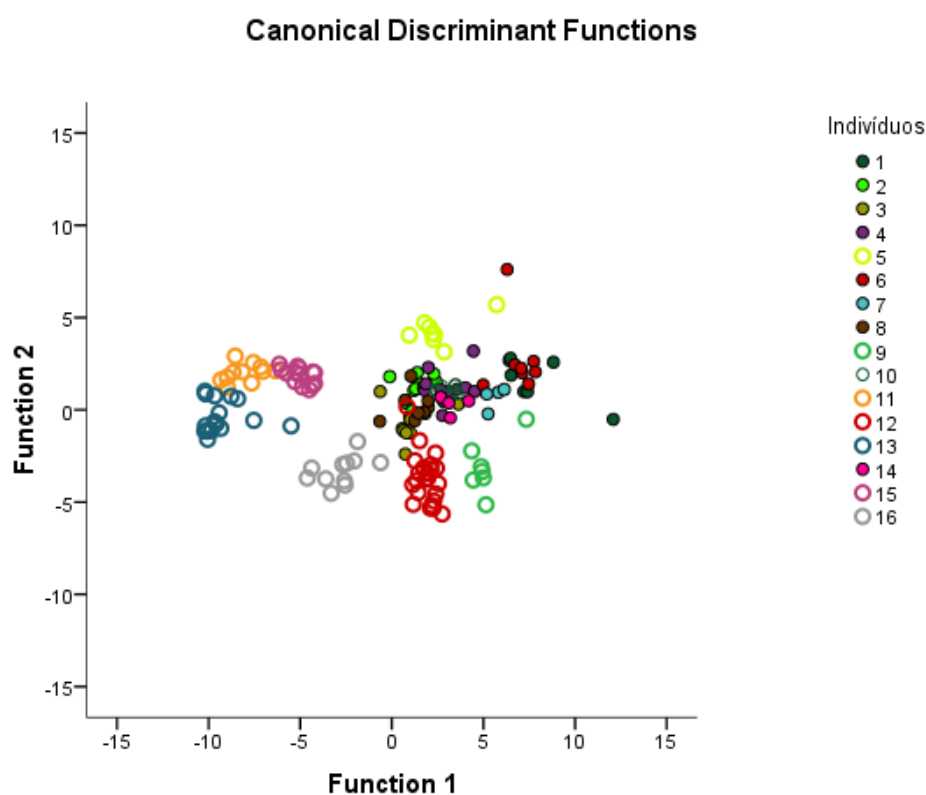


Figura 17. Representação dos coeficientes canônicos nas duas primeiras funções discriminantes.

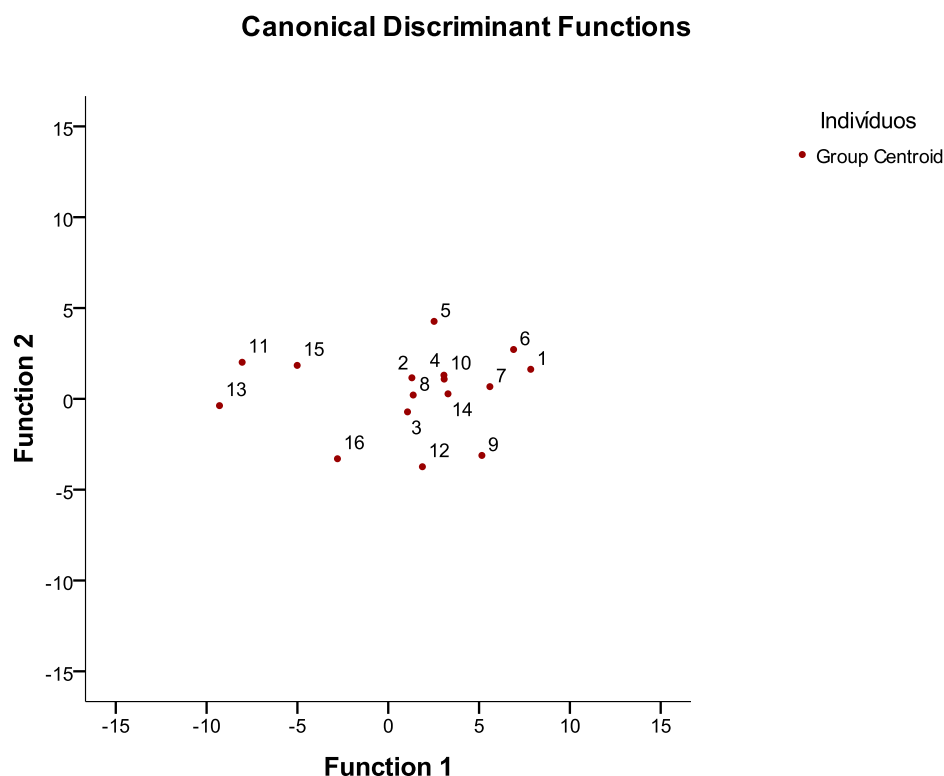


Figura 18. Representação dos coeficientes canônicos médios nas duas primeiras funções discriminantes.

A percentagem de vocalizações corretamente classificadas foi de 91.3%, variando de 50.0 a 100% de classificação correta para cada indivíduo. Foram atribuídas 14 vocalizações de forma errada no total da amostra (Tabela 24). Os erros gerados colocaram 1 *hoot* do indivíduo MtC no Lg5, 1 *hoot* do Ctv no VNT4, 2 *hoots* do VNT4 no MtR, ainda mais 1 dos seus *hoots* no FS3 e 2 vocalizações no FS1. Por sua vez, 1 *hoot* do FS3 no SP, 1 *hoot* do Mmt no Cnv e outro no CER_E, 2 *hoots* de Vnh no FS3 e, por fim, 1 vocalização de Cnv no Mmt e outra no CER_E.

Tabela 24. Nº total de *hoots*, nº *hoots* corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente (16 indivíduos).

Indivíduos	Nº total de <i>hoots</i>	Nº <i>hoots</i> correct. classificados	% classificação correcta
MtC	7	6	85.7
SP	12	12	100
Ctv	9	8	88.9
VNT4	10	5	50.0
VNT3	8	8	100
Lg5	8	8	100
MtR	4	4	100
FS3	9	8	88.9
CN	7	7	100
Lg4	8	8	100
Mmt	11	9	81.8
Vnh	23	21	91.3
Cnv	16	14	87.5
FS1	4	4	100
CER_E	14	14	100
Frv	11	11	100
Total	161	147	91.3

Foi, de igual forma, aplicada a esta análise discriminante o método cross-validation (leave-one-out classification).

A percentagem de vocalizações corretamente classificadas foi de 84.5%, variando de 20.0 a 100% de classificação correta para cada indivíduo. Foram incorretamente atribuídas 25 vocalizações no total da amostra (n = 161). Desta vez, citam-se os indivíduos que foram classificados sem erros de agrupamento (dada a considerável *misattribution*), o SP, VNT3, MtR, Lg4, FS1 e CER_E (Tabela 25).

Tabela 25. Nº total de *hoots*, nº *hoots* corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente (16 indivíduos) pelo método cross-validation.

Indivíduos	Nº total de <i>hoots</i>	Nº hoots correct. classificados	% classificação correcta
MtC	7	4	57.1
SP	12	12	100
Ctv	9	8	88.9
VNT4	10	2	20.0
VNT3	8	8	100
Lg5	8	5	62.5
MtR	4	4	100
FS3	9	7	77.8
CN	7	6	85.7
Lg4	8	8	100
Mmt	11	9	81.8
Vnh	23	21	91.3
Cnv	16	14	87.5
FS1	4	4	100
CER_E	14	14	100
Frv	11	10	90.0
Total	161	136	84.5

3.4.1.4 Fidelidade territorial

Com base em vocalizações de diferentes anos procedeu-se a análise exploratória das médias dos parâmetros acústicos nos dois momentos. Pela análise da Tabela 26 verifica-se uma disparidade de valores no território Lagarinhos4, sobretudo, nas variáveis HF e DHLt.

Tabela 26. Valores médios dos parâmetros acústicos em dois anos diferentes.

Médias	Cativelos		Lagarinhos4		Mata Cerca		Mata Rainha		S. Paio	
	1ºano	2ºano	1ºano	2ºano	1ºano	2ºano	1ºano	2ºano	1ºano	2ºano
D1 (ms)	574	657,78	656	562	668,57	751,43	677	717,5	506	597,69
D2	139	104,44	107,75	96	210	138,57	230	240	108,4	140,83
D3	986	880	1033,8	756	1114,3	1227,1	1120	1127,5	1026	1017,5
I1	5264	5208	2532,8	3598	2377,1	1848,4	2427,4	2,07	4168	2920,8
I2	5979	5908,9	3322,1	4288	2988,6	2750,4	2988,6	2605	4685	3700
I3	576	595,56	681,43	594	401,4	763,4	331,2	295	448,4	638,33
FML	365	367,78	453	348	501,4	615,7	539,4	540	361	430
TAIL	714	504,44	572	404	604,3	732,86	598	585	665	578,33
DTOT	7657	7454,4	5028,3	5622	4784,3	4772,9	4566,6	4459,8	6238	5335
FF (Hz)	816	791,1	965	648	854,29	864,29	864	872,5	838	942,5
HF	868	866,56	1037,5	700	925,71	934,29	914	925	909	1013,33
LF	430	434,44	607,5	414	575,71	474,29	574	497,5	547	568,33
DHL	438	431,11	430	286	350	460	340	427,5	362	445
DHLt	403	357,78	430	232	390	398,57	326	377,5	346	458,33

Para averiguar a variabilidade dos parâmetros acústicos em dois anos diferentes (2010 e 2012) foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, o qual evidencia que os indivíduos que apresentam maior inconstância vocal ao longo do tempo pertencem aos territórios Lagarinhos4 e S. Paio. Relativamente ao indivíduo de S. Paio, sobretudo, mas também ao de Cativelos não seria expectável essa dissimilaridade vocal ao longo do tempo. A presença vocal da fêmea nestes casos apenas no 2ºano pode estar na origem desta variação. Segundo o teste de Wilcoxon ($P < 0,05$), a estrutura da vocalização foi significativamente diferente em todos os parâmetros com e sem a presença da fêmea à exceção do D2 ($P = 0,747$), LF ($P = 0,063$), DHL ($P = 0,092$), DHLt ($P = 0,161$). Os restantes indivíduos Mata Cerca e Mata Rainha mostraram, genericamente, que não possuem diferenças significativas na estrutura da vocalização de um ano para outro, à exceção dos parâmetros D1 na caso da Mata Cerca. O indivíduo com maior estabilidade temporal de *hoots* foi o da Mata Rainha e, imediatamente, a seguir o vizinha da Mata Cerca, um aspeto a ter em consideração (Tabela 27).

Tabela 27. Teste de Kolmogorov-Smirnov para 2 anos diferentes ($p < 0,01$).

Teste de Kolmogorov-Smirnov					
n = 77	Cativalos	Lagarinhos4	Mata Cerca	Mata Rainha	S.Paio
	$p <$	$p <$	$p <$	$p <$	$p <$
D1	0,000	0,039	0,002	0,164	0,000
D2	0,000	0,218	0,012	0,988	0,001
D3	0,001	0,004	0,012	0,948	0,579
I1	0,307	0,218	0,012	0,023	0,000
I2	0,307	0,218	0,012	0,023	0,000
I3	0,075	0,039	0,012	0,116	0,000
FML	0,508	0,004	0,541	0,400	0,000
TAIL	0,000	0,004	0,012	0,988	0,016
DTOT	0,107	0,218	1,000	0,400	0,000
FF	0,022	0,004	0,938	0,999	0,000
HF	0,973	0,004	0,938	0,635	0,000
LF	0,996	0,004	0,012	0,164	0,131
DHL	0,856	0,004	0,056	0,116	0,006
DHLt	0,208	0,004	0,938	0,400	0,000

A análise discriminante linear efetuada para 77 *hoots* extraídos dos mesmos territórios em dois anos diferentes, evidenciou a separação entre grupos baseada num poder discriminatório altamente significativo de todas as variáveis em estudo (Tabela 28).

Tabela 28. Significância dos parâmetros acústicos (variáveis) na discriminação entre os 16 indivíduos (grupos).

Parâmetros	F_{9,67}	$p <$
D1	83,718	0,000
D2	39,291	0,000
D3	8,346	0,000
I1	104,216	0,000
I2	140,502	0,000
I3	18,572	0,000
FML	8,104	0,000
TAIL	33,030	0,000
DTOT	120,201	0,000
FF	63,962	0,000

HF	98,966	0,000
LF	29,383	0,000
DHL	9,826	0,000
DHLt	15,982	0,000

O teste gerou 9 funções discriminantes canónicas, das quais as 5 primeiras apresentam *eigenvalues* superiores a 1.0 explicando 98,2 % da variação acústica total entre indivíduos. Os baixos valores para o Wilk's λ para as funções geradas indicam um elevado poder discriminante nos parâmetros considerados (Tabela 29).

Tabela 29. Estatísticas do teste de seleção de funções discriminantes.

Funções	<i>Eigenvalue</i>	% de variância	% de variância cumulativa	Correl canónica	Wilk's λ	χ^2	g.l.	p<
1	51,693	55,8	55,8	0,990	0,000	921,639	117	0,000
2	19,265	20,8	76,6	0,975	0,000	665,929	96	0,000
3	9,308	10,0	86,6	0,950	0,001	471,857	77	0,000
4	6,513	7,0	93,6	0,931	0,007	321,380	60	0,000
5	4,245	4,6	98,2	0,900	0,052	191,309	45	0,000

A inspeção dos coeficientes canónicos uniformizados indicou que as variáveis que mais contribuíram para a discriminação com base na 1ª função foi o I1, na 2ª função as mais contribuintes foram a D1 e HF, já nas 3ª, 4ª e 5ª funções o I1 e I2 tiveram maior expressão. Face aos coeficientes estruturais, para 1ª função contribuíram mais fortemente o I2 e DTOT, na 2ª função a FF e HF foram as mais contribuintes, na 3ª função tiveram lugar a D1 e HF, na 4ª função a TAIL e DTOT foram mais salientes na discriminação, por sua vez a 5ª função evidenciou a D2, I1 e I2 com maior poder discriminatório (Tabela 30).

Tabela 30. Coeficientes canônicos uniformizados e coeficientes estruturais para as variáveis consideráveis nas sete primeiras funções discriminantes.

	Coeficientes canônicos uniformizados					Coeficientes estruturais				
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
D1	-0,451	0,757	-0,600	0,279	-0,139	-0,308	0,408	-0,465	0,399	0,090
D2	-0,202	0,498	0,580	0,531	-0,448	-0,210	0,174	0,327	0,208	-0,493
D3	-0,082	-0,047	0,134	0,121	0,127	-0,112	-0,018	0,084	0,222	0,120
I1	1,958	0,313	4,336	1,470	3,407	0,486	-0,056	-0,037	0,261	-0,493
I2	-0,923	-0,419	-3,954	-2,439	-4,610	0,568	-0,067	-0,143	0,345	-0,490
I3	0,958	0,258	0,424	0,840	1,226	0,036	-0,061	-0,376	0,068	0,435
FML	-0,426	0,411	-0,163	0,017	-0,166	-0,125	0,076	-0,002	0,117	0,127
TAIL	0,111	-0,248	0,666	0,652	0,349	-0,030	-0,123	0,246	0,683	0,330
DTOT	0,110	0,245	-0,136	0,821	1,296	0,512	-0,053	-0,154	0,491	-0,388
FF	-0,247	-0,314	-0,120	0,222	0,027	-0,268	-0,437	-0,243	0,288	-0,134
HF	-0,400	-0,680	-0,068	-0,058	-0,159	-0,324	-0,554	-0,352	0,328	0,124
LF	-0,304	-0,055	-0,343	-0,019	-0,234	-0,195	-0,274	0,046	-0,126	0,363
DHLt	0,189	-0,157	-0,271	-0,024	-0,390	-0,076	-0,197	0,184	0,282	-0,073

DHL não foi usada na análise

Pela análise da Figura 21, onde estão representados os coeficientes canônicos para cada *hoot* e os coeficientes médios, verifica-se que há uma separação dos 10 indivíduos (5 territórios) nos dois anos considerados. Todavia, há que acrescentar que todos os territórios evidenciaram proximidade vocal ao longo do tempo, à exceção do território Lg4. Neste ponto os sons analisados pertenceram a indivíduos de sexos diferentes, um macho no primeiro ano e uma fêmea no segundo (Tabela 26). Assim é este território que apresenta maior separação entre indivíduos. Contrariamente, os territórios com maior similaridade nos hootings foram a MtC (5 e 6) e MtR (7 e 8) entre os indivíduos vocais nos dois anos e, mesmo, entre os representantes do território vizinhos.

- Nomenclatura dos indivíduos:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ctv1º	Ctv2º	Lg4.1º	Lg4.2º	MtC1º	MtC2º	MtR1º	MtR2º	SP1º	SP2º

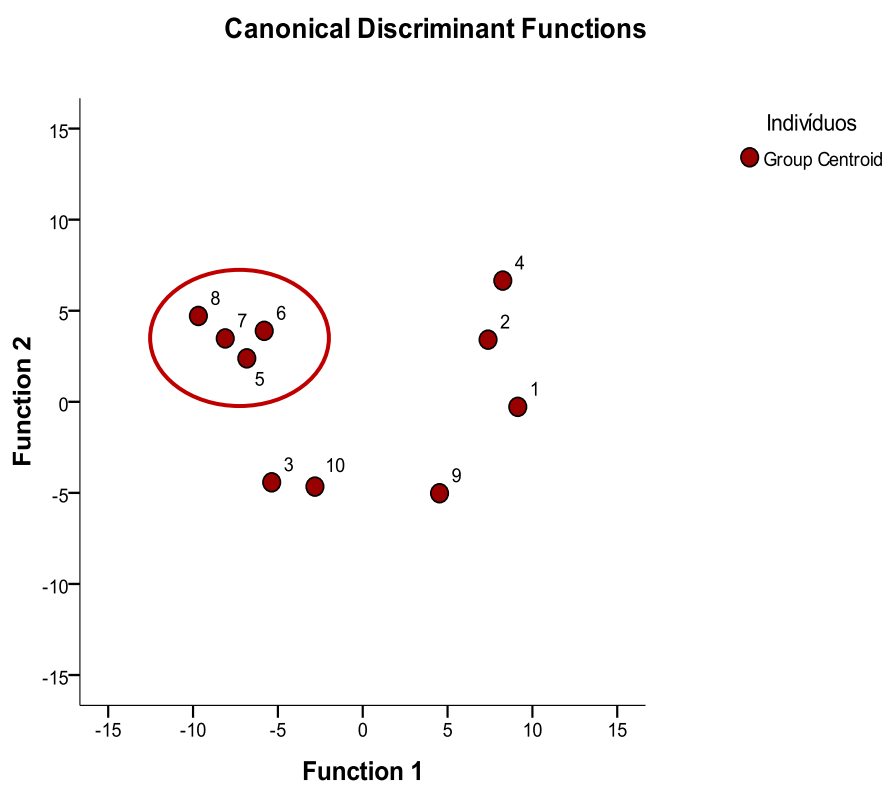
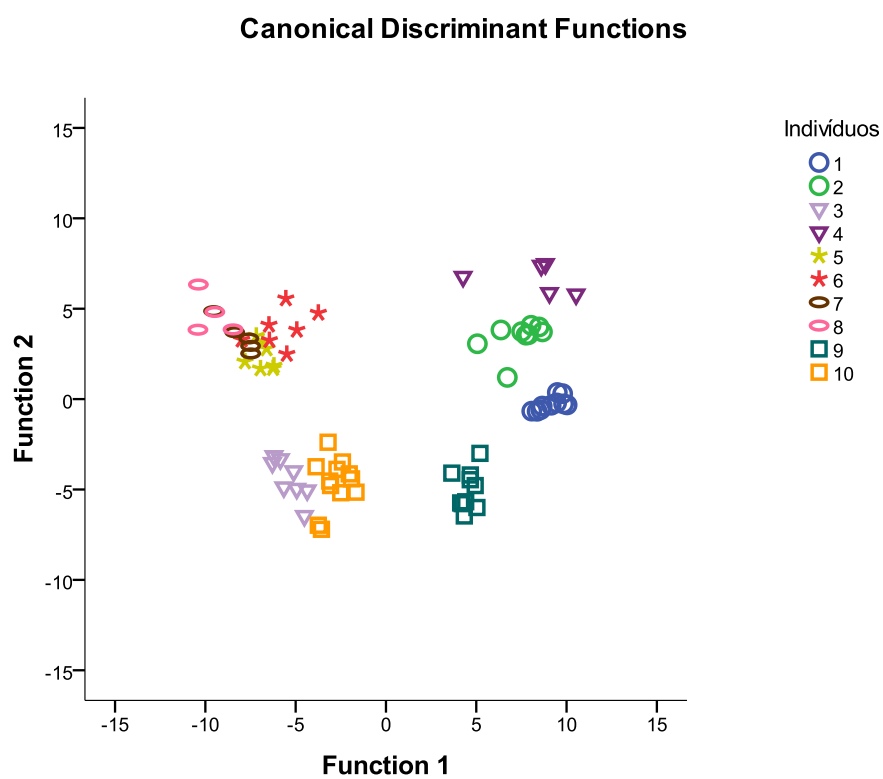


Figura 19. Representação dos coeficientes canónicos (cima) e coeficientes canónicos médios (baixo) nas duas primeiras funções discriminantes (elipse vermelha assinala 2 territórios contíguos, onde 5 e 6 – MtC e 7 e 8 – MtR).

A percentagem de vocalizações corretamente classificadas foi de 96.1% variando de 40.0 a 100% de classificação correta para cada indivíduo. Foram atribuídas 3 vocalizações de forma errada para amostra de indivíduos em 2010 e 2012 (Tabela 31). Os erros gerados colocaram 1 *hoot* do indivíduo MtR do 1ºano MtR do 2ºano e 2 vocalizações no MtC do 1ºano.

Tabela 31. Nº total de *hoots*, nº *hoots* corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente para o total da amostra (10 gravações).

Indivíduos	Nº total de <i>hoots</i>	Nº <i>hoots</i> correct. classificados	% classificação correcta
Ctv1º	10	10	100
Ctv2º	9	9	100
Lg4.1º	8	8	100
Lg4.2º	5	5	100
MtC1º	7	7	100
MtC2º	7	7	100
MtR1º	5	2	40.0
MtR2º	4	4	100
SP1º	10	10	100
SP2º	12	12	100
Total	77	74	96.1

Foi, também, aplicada a esta análise discriminante o método cross-validation (leave-one-out classification).

A percentagem de vocalizações corretamente classificadas foi de 90.9% variando de 40.0 a 100% de classificação correta para cada indivíduo. Foram incorretamente atribuídas 7 vocalizações no total da amostra (n = 77) (Tabela 32). Os erros verificados consistem na colocação de 1 *hoot* do indivíduo Ctv do 1ºano Lg4 do 2ºano (distância em linha reta – 4,250 m); 1 *hoot* do MtC do 1ºano no MtC do 2ºano; 1 *hoot* do indivíduo MtR do 1ºano MtR do 2ºano e 2 vocalizações no MtC do 1ºano (distância em linha reta – 390 m); 1 vocalização do MtR do 2ºano no MtR do 1ºano e, ainda, 1 *hoot* do SP do 1ºano no Lg4 de 2ºano (distância em linha reta - 7,650 m).

Tabela 32. Nº total de *hoots*, nº *hoots* corretamente classificados e % de classificação correta para cada indivíduo e globalmente para o total da amostra (10 gravações).

Indivíduos	Nº total de <i>hoots</i>	Nº <i>hoots</i> correct. classificados	% classificação correcta
Ctv1º	10	9	90.0
Ctv2º	9	9	100
Lg4.1º	8	8	100
Lg4.2º	5	5	100
MtC1º	7	6	85.7
MtC2º	7	7	100
MtR1º	5	2	40.0
MtR2º	4	3	75.0
SP1º	10	9	90.0
SP2º	12	12	100
Total	77	70	90.9

3.5 Discussão

3.5.1 Descrição geral da vocalização territorial

Os cantos/vocalizações nas aves são sinais acústicos usados, essencialmente, na comunicação para atração/estimulação da fêmea e como expressão de territorialidade (Catchpole & Slater 2003). O interesse científico na comunicação vocal das aves, conduziu ao conhecimento das pressões seletivas a que uma comunicação eficiente está sujeita e que determinaram a sua evolução. Destacam-se duas premissas que estão na base da estrutura dos sinais, a saber, a potencialidade do sinal fornecer a informação exata para desencadear uma resposta e a transmissão eficiente do som. Estas são alvo de constrangimentos ambientais, por exemplo pela atenuação e degradação e pela detetabilidade e reconhecimento do sinal por parte do conspecífico (Guilford & Dawkins 1991; Catchpole & Slater 2003). Neste sentido, os traços nas vocalizações da Coruja-do-mato devem assegurar uma transmissão e propagação ótima nos habitats e territórios ocupados pela espécie, transmitindo a informação eficientemente a vizinhos e/ou a conspecíficos mais distantes.

As vocalizações presenciadas ao longo do estudo foram, maioritariamente na defesa territorial em dueto vocal, salientando-se assim a importância na comunicação com a fêmea e a sua ampla capacidade de resposta a estímulos conspecíficos. As frequências que caracterizam a vocalização são relativamente baixas (inferiores a 1KHz), na ordem dos 970Hz em média (e mediana) e devem assegurar uma transmissão eficiente a longas distâncias. Estima-se que os fenómenos de reflexão, dispersão e refração, assim como a modulação ao longo da transmissão do sinal seja menos provável em frequências mais baixas (característica da espécie alvo) (Wiley & Richards 1982).

Com exceções, é nas primeiras 4-5 cinco horas da noite e até 2 horas antes do ocaso que a detetabilidade dos Strigiformes é mais elevada (Johnson et al. 2007), notar que a Coruja-do-mato é essencialmente noturna pelo que a deteção de vocalizações em momentos crepusculares não é muito frequente. Ao longo do trabalho foi presenciada a resposta vocal, numa amplitude horária de 30 minutos depois do ocaso e no momento do nascer do sol. Um outro aspeto da vocalização da espécie é o padrão repetitivo dos *hoots*

que a compõem. A verificada redundância através da repetição de sinais, poderá compensar a degradação do som durante a propagação, resultando no possível aumento da sua detetabilidade por conspécíficos (Wiley & Richards 1982; Catchpole & Slater 2003). A estrutura harmónica presente neste tipo de vocalizações, é característica não só de aves de rapina noturnas (Galeotti et al. 1993; Freeman 2000), como também de maioria dos passeriformes (Bradbury & Vehrencamp 2011). Consequente dos efeitos de ressonância funcionalmente manifestados pela traqueia, sendo variável com as morfometria deste órgão, e de notar que os sinais acústicos são produzidos nas aves pela siringe, uma modificação entre os brônquios e a traqueia (Bradbury & Vehrencamp 2011).

3.5.2 Fatores abióticos

Quanto à existência de influências significativas dos fatores abióticos nos parâmetros acústicos verificou-se que, de uma forma geral, um grande número de variáveis estão correlacionadas. No entanto, a força da correlação é muito fraca a moderada, para os casos pertencentes a [0,00–0,19] e [0,40–0,69] (Fowler & Cohen 1999), respetivamente. É de referir que só serão comentadas as correlações moderadas, assim existe uma influência significativa da temperatura na DTOT (duração total do *hoot*) e em explicação para esta correlação positiva pode supor-se que, sendo a DTOT maior quando a temperatura é mais elevada, a ave não terá um dispêndio tão elevado com a homeotermia daí podendo investir mais energia na vocalização, podendo resultar num *hoot* mais longo. Em concordância, a maior percentagem de *hoots* foi amostrada no intervalo de temperaturas mais elevado [18,22°C] com 49,69% dos casos (Figura 11).

Face à fase da lua as variáveis correlacionadas (negativamente) são a D1, D3 e TAIL. Verificou-se que quão maior a duração da nota mais baixo o número de classificação atribuído à fase da lua (1-nova, 2-crescente, 3-cheia, 4-minguante), excluindo-se o 1, por não haver nenhum caso amostrado. As notas com maior duração foram detetadas no quarto crescente, fase da lua mais representativa da amostra total com 51,55% dos *hoots* analisados (Figura 11). Aparentemente não há nenhum motivo lógico, avaliando a ecologia comportamental da espécie, para este facto ocorrer. Contudo, poder-se-á especular acerca do papel da comunicação visual para espécies noturnas, nomeadamente

em noite de maiores níveis de luminosidade a demarcação territorial pode ser otimizada pela exposição de, por exemplo, características da plumagem como no caso do Bufo-real (mancha branca na zona do pescoço evidenciada aquando da vocalização) (Penteriani et al. 2010) ou, mesmo melhor visibilidade para as atividades de caça, o que pode significar que os indivíduos estejam mais ativos e mais detetáveis. Por semelhança em noites com luar intenso, neste caso o quarto crescente como foi verificado mais vezes que a lua cheia, a Coruja-do-mato poderá, por hipótese, expandir as suas notas para evidência de algum aspeto visual indicador da *fitness* do indivíduo.

Relativamente ao ruído observa-se correlação entre o mesmo e o parâmetro I2, sendo que o sentido da correlação é positivo. Logo, para níveis de ruído mais elevados o I2 tende a ser maior. Pode-se, assim, inferir que uma maior duração do I2 implica por si só, um *hoot* mais longo facto corroborado pela correlação positiva da DTOT, ainda que fraca. Assim, pode supor-se que um indivíduo de Coruja-do-mato na presença de ambiente com níveis de ruído elevado poderá modelar a sua vocalização, tornando-a mais longa, por forma a ser detetada. O nível de ruído frequentemente verificado na amostragem das vocalizações foi o nível 2 (pouco ruído) (Figura 12), requisito para uma fiável gravação da vocalização.

No que respeita ao vento os parâmetros D1 e D3 apresentam uma correlação negativa, donde se pode concluir que para níveis consideráveis de vento a duração das variáveis citadas registam valores mais baixos (de 1 – pouco vento a 2 – vento considerável, apenas os dois níveis verificados). Assim, o vento pode atuar como um constrangimento ambiental para os indivíduos, e numa situação de vento mais forte a ave tem a propagação do seu chamamento comprometida (Kissling et al. 2010), encurtando a suas notas. O nível de vento mais representativo da amostra de sons foi o nível 1 (ausência de vento), uma vez mais como condição essencial para uma gravação ótima (Figura 12).

3.5.3 Duetos vocais

Dada a inconsistência do método para distinguir sexos na Coruja-do-mato, nomeadamente por ouvido humano, atentando na característica ser mais ou menos rouco, mais ou menos limpas as notas, procedeu-se a verificação de género por meio de

uma análise aglomerativa *cluster* em adição ao descrito na literatura. Assim, verificou-se que se poderá traçar um breve perfil para ambos os sexos: (a) as fêmeas - vocalizam a frequências menores por apresentarem maior tamanho corporal (Cardoso & Price 2010); a queda da última porção da nota III (TAIL) é menor e os seus *hoots* têm uma maior duração ($DTOT_{\text{médio}} = 7123,62$), por oposição (b) os machos – vocalizam a frequências mais elevadas, por terem um peso mais baixo; o caimento da TAIL é maior (Galeotti 1998) e os seus *hoots* são mais curtos.

A variação entre género é, segundo a PCA de 43.7%, com um maior contributo para a variabilidade conferidos aos parâmetros D3, I1, I2, TAIL, DTOT, FF e HF com expressão na PC1 e o DHLt com coeficientes relevantes na PC1 e PC2. Adicionalmente, poder-se-á concluir que os parâmetros enunciados são possíveis bons discriminadores entre macho e fêmea.

Com o intuito de testar a hipótese da convergência vocal dentro do par recorreu-se ao teste de Dunnet que prontamente evidenciou uma tendência de repetição, dentro de cada casal, em 5 parâmetros D2, I1, FML, LF e DHL. O facto sustenta que se poderá, expectavelmente, dizer-se que existe um indício de homogeneidade da vocalização entre macho e fêmea, enquanto casal. Todavia, ao nível da restante amostra de casais, por comparação das fêmeas de cada par com os restantes machos constata-se que essa tendência não se verifica, uma vez que a incidência dos parâmetros “homogeneizadores” intra-par e extra-par foi significativamente diferente ($P < 0,05$). Excetuando o LF que não variou significativamente, dentro e fora dos pares, ainda que com uma percentagem diferença de incidência elevada. Entenda-se da seguinte forma, o que torna similares vocalmente os sexos dentro do par, não aproxima os sexos extra-par. Assim, visto que as variáveis que indicam uma maior similaridade da vocalização entre casal, não se verificam significativamente extra-par, a hipótese da convergência entre macho e fêmea enquanto casal fica em aberto. Reserva-se, então, a suposição para testes mais robustos e com uma amostra populacional maior. É, ainda, precipitado e inconsistente assumir que há convergência vocal entre casal com base neste estudo preliminar. Contudo, para averiguar de forma mais eficaz a existência da hipotética convergência da vocalização dentro do par, dever-se-ia, para além de aplicar a populações maiores, estudar casais

recém-estabelecidos e marcá-los devidamente com recurso à sexagem. Posteriormente, realizar-se-iam análises vocais (inspeção de sonogramas) frequentes (e.g em cada época reprodutiva) para avaliar não só a convergência como o sentido da convergência, ou seja, se será o macho ou a fêmea a homogeneizar o seu canto com o respetivo parceiro.

3.5.4 A individualidade da vocalização

Quanto à variabilidade intra-individual verificou-se a existência de variações globais nos parâmetros acústicos considerados, registando valores mais elevados nas variáveis D2, I3, DHLt e DHL, respetivamente com CV de 14.93, 11.82, 11.41 e 10.38. Este tipo de variação pode ser involuntária em consequência de diferença no controlo muscular e na tensão das membranas responsáveis pela produção sonora, por parte do indivíduo. A variabilidade a um nível superior, por exemplo na existência de formas diferentes das notas, não foi detetada. As pequenas variações ao longo da primeira nota dentro da mesma ave, não mostraram ser uma tendência ao longo da população amostrada, contudo não é alvo de exclusão se considerada uma população mais elevada ou se usado um método eficaz de medir as modulações a um grau altamente detalhado. Assim, poder-se-á obter a expressão de variações consistentes expressas num número significativo de indivíduos, o que pode transportar um possível valor adaptativo ao possuir, e. g. diferentes formas do vocalização territorial.

Não obstante a presença de variações individuais, foi verificado que para todos os parâmetros acústicos a variabilidade entre indivíduos foi superior à constatada dentro do mesmo indivíduo, com destaque para o I1, I2 e DTOT (segundo a razão $CV_{inter-individual}/CV_{médio intra-individual}$). Este facto constitui o pré-requisito necessário para aferir a individualidade no canto, de uma forma generalizada em todos os grupos (baixa variabilidade interna e elevada variação externa ao indivíduo) (Galeotti & Pavan 1993; Terry et al. 2005).

A análise para o total das vocalizações indicou que os parâmetros temporais, em geral, se apresentam menos estereotipados, com CV que oscilam entre 15.35 e 33.04 %, por comparação à variável mais estereotipada, o HF com CV de 4.93%. Assim, mostra-se

importante referir que o facto de existir uma grande variabilidade entre indivíduos respeitante a parâmetros temporais, poder-se-á dever a duas hipóteses: (a) a presença de fêmeas a defender território, pode explicar estas diferenças temporais, já que se verificou que a D3, I1, I2, TAIL e DTOT são as variáveis, extraídas da PCA, que melhor explicam a variação entre género, ou (b) que a variação temporal nos *hoots* é um traço característico nas vocalizações da espécie e o efeito da adição das presumíveis fêmeas é diluído por serem em menor número (n = 4 em 16 indivíduos).

Como referido, a análise aglomerativa para a totalidade da população amostrada indica claramente dois grupos, sendo que na ramificação das fêmeas se encontram indivíduos até ao momento pensados como presumíveis machos. Todavia pelo agrupamento do *cluster* há evidências de serem fêmeas, nestes casos, a mostrar a sua plasticidade comportamental e agressividade face a demarcação territorial. Uma explicação possível poderá residir na ausência do macho do par da área útil de detetabilidade do *playback* por se encontrar vigilante, por exemplo, a procurar alimento. Será de excluir a hipótese de serem territórios sem par estabelecido, onde a fêmea sendo estimulada pelo *playback* responde ativamente com o seu *hooting*, pelo menos face a dois pontos o Cnv e Frv. No caso do Cnv é de conhecimento de anos anteriores que a cada época reprodutiva ingressam no centro de recuperação local (CERVAS, Centro de Ecologia, Recuperação e Vigilância de Animais Selvagens) crias deste ponto, por queda de ninho e ainda que em 2012 foram escutados juvenis. Face ao Frv a defesa foi realizada pelo casal, contudo os *hoots* relativos a um indivíduo foram de má qualidade para análise daí não constarem na análise dos duetos. Assim, elege-se um indivíduo em detrimento do outro para a discriminação, por possuir *hoots* de maior qualidade, já que o objetivo é o reconhecimento de indivíduos, e não de somente machos. Neste sentido, verifica-se o ponto Frv que não possui uma fêmea desemparelhada.

Com base na análise de variância simples (ANOVA) todos os parâmetros acústicos mostram-se altamente significativos quanto à variação entre indivíduos, o que constitui um bom pressuposto para o reconhecimento individual, indicando que todos os parâmetros possuem *à priori* uma relevante capacidade discriminatória. Com o intuito de perceber quais são as variáveis que melhor sustentam essa variação, o PCA decodificou

para a PC1 que os parâmetros D1, I1, I2, FML e DTOT são os que melhor explicam a variação global de 28.2%. De notar que tendo em consideração as restantes PC não há nenhum parâmetro acústico que não apresente um razoável contributo, face à tendência geral, para a variação entre indivíduos. Assim com o intuito de reduzir a multidimensionalidade dos dados poder-se-á dizer que os parâmetros com maior potencial discriminatório, segundo a PCA, serão os D1, I1, I2, FML e DTOT (PC1). Contudo, o D2, D3, I3, HF, DHL e DHLt parecem ser bons discriminadores por explicarem a variação nas outras componentes. Posto isto, será razoável utilizar todos os parâmetros para averiguação na análise discriminante. A percentagem de variabilidade de 28.2% na estrutura da vocalização pode estar relacionada com aspetos não impressos no *hooting* como a idade, os níveis de testosterona, doenças e presença de parasitas (Galeotti 1998).

Os resultados relativos à LDA representam a evidência de que a espécie Coruja-do-mato possui vocalizações territoriais distintas individualmente. Os modelos gerados da análise discriminante produziram valores de classificação correta que oscilaram entre 95.7 e 100% para cada indivíduo. Para o conjunto de indivíduos estudados, os valores de classificação correta foram de 99.4% para o total da amostra. Via cross-validation, como verificação da classificação inicial, registou-se uma variação individual de 85.7 a 100%, com uma classificação global correta de 97.5%, representando um valor elevado e bastante próximo do primeiro método. Ao nível dos parâmetros que mais contribuem para a discriminação verificou-se que o I1, I2, DTOT são os mais preponderantes, contudo o D1, D2, I3 e TAIL também assumem uma importante contribuição discriminatória (análise até à 5ª função da Tabela 18, pela indicação dos Wilk's λ mais baixos). De acordo com a abordagem inicial dos CV na razão CV inter-individual/ CV médio intra-individual, onde o I1, I2 e DTOT são os parâmetros menos estereotipados, são agora na análise discriminante as mesmas variáveis as que mais contribuem para o modelo de classificação. Adicionalmente, os CV inter-individuais revelaram que os parâmetros mais variáveis entre indivíduos foram o D2, I1, I2 e TAIL.

Para suplantar a questão da multicolinearidade, que se verifica quando existem variáveis explicativas linearmente dependentes, que pode decorrer de variáveis que são combinações de outras variáveis da análise, os resultados da LDA com os scores da PCA

indicaram um intervalo de classificação correta individual de 50.0 a 100%, como um valor global de discriminação de 91.3%. Por cross-validation registou-se uma variação individual de 20.0 a 100% com uma classificação global correta de 84.5%, representando um valor consideravelmente bom e com uma diferença razoável se comparado com a classificação sem validação. Face às variáveis acústicas mais contribuintes para a discriminação constatou-se que o I1, I2, DHLt e TAIL foram as de maior peso, ainda a FF e DHL ao nível da 3ª função canónica mostraram-se fortes contribuintes para a classificação (análise da Tabela 23 até à 3ª função, de acordo com os valores de Wilk's λ mais baixos).

As características estruturais da vocalização da Coruja-do-mato que parecem refletir a qualidade territorial estão associadas à amplitude de frequência da 1ª nota, DHL e à duração das 1ª e 3ª notas, D1 e D3. Contudo, há que considerar os custos implícitos na produção de notas com amplos intervalos de frequência e com maiores comprimentos (Galeotti 1998). A capacidade de produzir um largo espectro de frequências ou notas longas está associada ao desenvolvimento de redes neuronais que controlam os músculos e os nervos envolvidos na produção da vocalização, (Lambrechts & Dhondt 1986). Assim, a manifestação de maior DHL e notas mais longas deverá ser um sinal honesto da capacidade de canto para o sucesso e a sobrevivência (Galeotti 1998).

Importa ainda referir que a menor variabilidade intra-individual e inter-individual foi evidenciada pelos mesmos parâmetros, a saber, a frequência fundamental e frequência máxima, o que representa uma limitação na sua variabilidade. Esta característica, possivelmente, não estará relacionada com constrangimentos morfofisiológicos, visto que a espécie exhibe outros tipos de sinais acústicos como a vocalização de contato, cujas frequências são superiores do que as registadas na vocalização territorial. Poderá, certamente, estar relacionado com a seleção de uma janela de frequências, ao nível do software bioacústico, que uma vez sendo otimizada para a transmissão a longa distância deverá assegurar uma maior eficiência na análise de frequências baixas, aspeto característico e de primordial função na defesa territorial da Coruja-do-mato.

Similarmente a outros estudos de individualidade com strigiformes, concretamente no reconhecimento individual realizado por Galeotti & Pavan (1991) na Coruja-do-mato obtiveram uma elevada taxa de discriminação correta no total da amostra ($n = 17$

indivíduos), com o valor de 99.1% apenas pela análise de parâmetros temporais e com os parâmetros o FML, D1 e I3 como os que mais contribuem para a classificação. A análise discriminante realizada pela equipa não foi alvo de validação, um aspeto a ter em consideração. Por comparação ao presente estudo verifica-se que a classificação correta foi de 99.4%, superior à do estudo citado, mas consideravelmente inferior por cross-validation com 97.5%. Considerando o segundo valor como o mais preciso, a diferença razoável poderá ser, em suposição, devida à inclusão de parâmetros de frequência na inspeção dos *hootings*, ou, por ventura, a traços regionais que a população autóctone conserva, uma vez que se tratam de subespécies diferentes (*S. aluco sylvatica* – Portugal vs. *S. aluco aluco* – norte de Itália). Assim de acordo com Galeotti et al. (1996) existem variações macrogeográficas entre a subespécie *S. aluco sylvatica* e *S. aluco aluco*, onde as percentagens de discriminação individual se situam entre nos 89,6 e 81,2%, respetivamente, e as variáveis mais importantes na discriminação foram a D2, DHL e I3. De descartar será a hipótese da inclusão de fêmeas na discriminação individual para a espécie possa originar valores tão elevados de classificação (entender-se-á que machos são mais parecidos entre si do que com as fêmeas conspecíficas), uma vez que o valor de classificação da amostra de machos foi de 97.7% (cross-validation) e separadamente para as fêmeas de 97.6% (cross-validation).

Em suma, perante os elevados valores percentuais de discriminação no presente trabalho de 97.5% e 84.5% nas duas abordagens (tomando os valores mais realistas da cross-validation), infere-se que se consegue uma boa discriminação para a maior parte dos indivíduos. Tendo em consideração que a Coruja-do-mato é sedentária e territorial e que a monitorização de uma população deverá exigir a distinção de poucos efetivos em territórios contíguos, aspetos esses que tornam viável a utilização da vocalização territorial como forma de discriminação entre diferentes indivíduos.

3.5.6 Fidelidade territorial

A Coruja-do-mato apresenta uma elevada fidelidade territorial, uma vez estabelecido o território, geralmente, o indivíduo mantém-no ao longo da sua existência. Em média, a longevidade da espécie é de 5 anos, podendo alguns casos atingir os 18-20 anos no seu

contexto natural (Delmée et al. 1978 citado por Galeotti 1998). Perante a existência de vocalizações de dois anos diferentes (2010 e 2012) nos mesmo territórios visou-se testar a estabilidade temporal da vocalização com base na sua individualidade e, por conseguinte, averiguar a constância de território. Assim, primeiramente através dos valores médios dos parâmetros vocais em dois momentos diferentes, verificou-se que no território Lagarinhos4 existe uma diferença acentuada sobretudo nas variáveis de frequência. O facto revela que, provavelmente, se tratam de indivíduos de sexo diferente, sendo que no 1ºano tratar-se-á de um macho pelos FF e DHLt superiores ao do indivíduo do 2ºano, por oposição, portanto uma fêmea (Tabela 26). Tais variáveis, como mencionado anteriormente estão, possivelmente, envolvidas na distinção de género para a espécie. Decorrente desta discrepância, verificou-se que são os indivíduos de Lagarinhos4 que apresentam uma maior inconstância vocal ao longo do tempo, seguido do território S. Paio. Face ao primeiro era expectável a diferença significativa nos dois momentos, uma vez que anteriormente se admitiu que se tratam de indivíduos diferentes (macho e fêmea). Relativamente ao indivíduo de S. Paio, sobretudo, mas também ao de Cativeiros não seria expectável essa dissimilaridade vocal ao longo do tempo, dado que a estabilidade da vocalização permite referir o sedentarismo da espécie assumido *à priori*. Nestes casos a presença da fêmea no 2º ano pode explicar a variação temporal do *hooting*, com todos os parâmetros acústicos significativamente diferentes com ou sem o evento de dueto, excetuando o D2, LF, DHL, DHLt (teste de Wilcoxon). Assim, pode implicar-se a existência de duetos vocais como agentes de variação vocal, gerando inconsistência do *hooting* ao nível temporal. Contudo, deve-se ter em consideração a inconstância vocal (variação significativa) evidenciada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Tabela 27) e os constrangimentos ambientais e fisiológicos que poderão explicar a variação anual da vocalização, em adição à presença das fêmeas. Em contraste, um estudo de Galeotti (1998) mencionou não haver diferenças significativas na estrutura da vocalização territorial do macho com ou sem presença da fêmea, mas afirmativamente ao nível da taxa de *hooting*. Há, todavia, que ter em conta o baixo *n* do presente estudo e proceder a verificação com uma amostra maior de indivíduos. Nos casos dos indivíduos da Mata Cerca e Mata Rainha revelaram uma consistente estabilidade temporal, sendo o

último o mais similar vocalmente entre anos (Tabela 27). Tais resultados estão em concordância com Galeotti & Pavan (1991) que constaram que o hooting da espécie é muito constante ao longo de um período de 6 meses, e provavelmente ao longo dos anos, acrescentam. Os resultados relativos à LDA para esta questão produziram valores de classificação correta que oscilaram entre 40.0 a 100%, com um valor global de 96.1% de discriminação de indivíduos entre anos. Por meio da cross-validation classificou-se 90.9% das vocalizações, com uma variação de 40.0 a 100%, representando um valor razoavelmente elevado e próximo do primeiro método para a LDA. Os parâmetros que mais contribuíram para a discriminação de indivíduos foram o I1, D1, HF, I2, DTOT e FF face às duas primeiras funções discriminantes (Tabela 30). Graficamente todos os indivíduos são separados ao nível vocal (Figura 19), mas com clara proximidade da estrutura do *hooting* ao longo do tempo, com exceção do território Lg4, pois como se constatou os sons analisados pertenceram a indivíduos de sexos diferentes. Por sua vez, os territórios com maior similaridade nos hootings foram a MtC e MtR. A ocorrência de sobreposição em alguns sons destes dois territórios poderá indicar que se tratam de indivíduos iguais e com vocalizações mais semelhantes ao indivíduo vizinho comparativamente à restante amostra. Poder-se-á entender esta a proximidade, segundo as funções discriminantes, como indivíduos do mesmo sexo e (por oposição ao caso de Lg4 e pela Tabela 26), assim, com probabilidade de serem o mesmo indivíduo, hipótese apoiada pela literatura (Cramp 1985), indicando o caráter sedentário da espécie. Contudo, deve-se ter em consideração a inconstância vocal (variação significativa) evidenciada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Tabela 27). Ainda assim, os erros gerados na atribuição de sons indicam que, possivelmente serão os mesmos indivíduos em anos diferentes, vejamos a colocação de 1 *hoot* do indivíduo MtR do 1ºano no MtR do 2ºano e 2 vocalizações no MtC do 1ºano, 1 vocalização do MtR do 2ºano no MtR do 1ºano e 1 *hoot* do MtC do 1ºano no MtC do 2ºano. Com efeito, os indivíduos MtR e MtC apresentam alguma similaridade na vocalização ao longo do tempo, portanto indica que muito provavelmente serão fiéis aos seus territórios, mas também se apresentam muito próximos um do outro (contiguidade de territórios). A não sobreposição de sons neste caso, ou seja, no sentido MtC ↔ MtR sendo pontos adjacentes indica a correta

estimativa de indivíduos nesta faixa geográfica, distância em linha reta – 390 m, no estudo de Aguiar (2010). Aqui poder-se-ia assumir a probabilidade da incorrer numa sobrestimação de indivíduos nesta área, apenas pela deteção auditiva da espécie, todavia tal não se verificou, inferência retirada com alguma segurança. No caso particular da população em estudo foi estimado um tamanho médio de território de 505m (área 80,1 ha), com densidades consideráveis ($n = 30$) asseguradas pela presença de manchas florestais nas áreas agrícolas (Aguiar 2010).

A aplicação e utilidade da técnica do reconhecimento individual pela vocalização em censos tem sido pouco explorada. Um estudo de Peake & McGregor (2001) evidenciou que o uso da individualidade vocal aumentou cerca de 20-30% a estimativa pelo censo, assumindo um relevante papel conservacionista. Especialmente para espécies com um elevado estatuto de conservação, mas com interesse para a monitorização de populações *sensu lato* (pela isenção de implicações éticas), visa-se assim reduzir o enviesamento inerente ao censos, suscetível de variar entre anos e áreas, devido às alterações do habitat, à exploração humana ou a grandes flutuações na densidade de indivíduos (Bibby et al. 1992).

3.6 Considerações finais

O estudo de espécies com hábitos noturnos transporta limitações óbvias, como a não conspicuidade visual. Alternativamente, os sinais acusticamente distinguíveis apresentam um potencial para serem eleitos como opção a métodos de marcação invasivos, fornecendo relevantes informações para a conservação de espécies. A consistente possibilidade de reconhecer individualmente espécimes de Coruja-do-mato ao longo dos seus territórios através de assinaturas vocais presentes na vocalização territorial, lança o estudo da espécie e de Strigiformes *sensu lato* para um novo campo. Dada a dificuldade da sua observação, esta ferramenta, o reconhecimento acústico, possibilita, a realização de censos com maior fiabilidade, a marcação detalhada dos limites dos territórios e assumindo a estabilidade temporal da vocalização (Galeotti & Pavan 1991), poder-se-á realizar monitorizações de longo prazo para a averiguação das taxas de substituição da população. De salientar ainda, o caráter não invasivo do método,

não exigindo a captura e marcação dos indivíduos. Esta possibilidade não implica perturbação e como tal cumpre o requisito ético essencial na conduta da investigação animal e embora o número de efetivos da espécie em Portugal seja elevado há que investir em técnicas o menos intrusivas possível. A mesma abordagem pode ser, facilmente, aplicada a outras espécies de aves de rapina noturnas e, uma vez, tendo em conta a semelhança do grupo algumas conclusões serão semelhantes, por sinal facilitadas com estudo estudo.

De especial interesse será o de continuar a apostar no esforço de gravação de indivíduos em cativeiro, pois, uma vez, tendo sucesso à semelhança de Lengagne (2001), dá-se um incremento no conhecimento de tendências morfológicas e comportamentais, além da valiosa ferramenta que seria para a recuperação e vigilância dos indivíduos, por exemplo, em centros de recuperação. Utilizar o cativeiro para o conhecimento de dialetos vocais e prevalência de morfótipos consoante o habitat, clima e área geográfica parece ser um ponto interessante e de baixo esforço. Ainda, a comparação com as vocalizações de indivíduos em cativeiro com o habitat natural poderia testar a hipótese do empobrecimento da vocalização em situações de cativeiro prolongado.

As estimativas de classificação correta na análise discriminante poderão ser otimizadas com o aumento da amostra em análise, assim como o número de vocalizações considerado *per* indivíduo. Consideram-se que estudos de longo prazo, idealmente que englobem uma grande parte da vida dos indivíduos serão uma mais-valia na inferência da estabilidade temporal das vocalizações, em termos de fidelidade territorial, convergência vocal e nas variações do *hooting* com a idade e o fator experiência. De interesse, também, para a questão da convergência vocal dentro do par, o estudo em amostras populacionais maiores é importante, assim como o seguimento de casais recém-estabelecidos para testar a hipótese e o sentido da similaridade entre género (se atua na fêmea ou no macho).

Quanto às limitações ao presente estudo dizem respeito, essencialmente, às condições climáticas ideais, como a ausência de chuva, vento e ruído, afetando não só o comportamento vocal da espécie, bem como a qualidade das gravações. Outro aspeto é a garantia da menor distância possível ao indivíduo vocal nem sempre conseguida por

constrangimentos físicos (como propriedades privadas e a altura a que a ave vocal se encontra). A proximidade a habitações, ainda que em meio agro-florestal acarreta um nível de perturbação sonora considerável inerente à presença humana (presença de cães e interpelações por parte dos locais – integrar a comunidade nos estudos científicos).

Em suma, descodificar tanta informação quanto possível de um grupo complexo e de hábitos secretivos como os Strigiformes representa um importante desafio para a ecologia animal e conservação no contexto português.

3.6 Bibliografia

Aguiar A (2009) Populações de *Strix aluco* e *Otus scops* em áreas agro-florestais. Universidade de Aveiro.

Appleby BM, Redpath SM (1997) Variation in the male territorial hoot of the Tawny Owl *Strix aluco* in three English populations. *Ibis* 139:152-158.

Appleby BM, Yamaguchi N, Johnson PJ, Macdonald DW (1999) Sex-specific territorial responses in Tawny Owls *Strix aluco*. *Ibis* 141:91-99.

Baptista LF, Gaunt LL (1997) Bioacoustics as a tool in conservation studies In Press CU (Eds.) Behavioral Approaches to Conservation in the Wild. 213-242 pp.

Bibby CJ, Burgess ND, Hill DA (1992) Bird Census Techniques. Academic Press, London.

Bibby CJ, Burgess ND, Hill DA, Mustoe SH (2000) Bird Census Techniques. Second Edition.

Bradbury J, Vehrencamp S (2011) Principles of Animal Communication, Second Edition. Sinauer Associates, Massachusetts.

Brandão R (2009) Relatório de actividades CERVAS (Centro de Ecologia, Recuperação e Vigilância de Animais Selvagens). Parque Natural da Serra da Estrela.

Brown TJ, Handford P (1996) Acoustic Signal Amplitude Patterns: A Computer Simulation Investigation of the Acoustic Adaptation Hypothesis. *The Condor* 98:608-623.

BTO (2007) Tawny Owl Survey 2005. BTO Surveys, UK.

Cardoso G, Price T (2010) Community convergence in bird song. *Evolutionary Ecology* 24:447-461.

Catchpole CK, Slater PJB (2003) Bird Song: Biological Themes and Variations. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

Cavanagh PM, Ritchison G (1987) Variation in the Bounce and Whinny Songs of the Eastern Screech-Owl. *The Wilson Bulletin* 99:620-627.

Chumbinho A (2002) O Canto Territorial do Mocho-galego (*Athene noctua*): Caracterização, Individualidade e Defesa do Território. Instituto Superior de Psicologia Aplicada.

Clark K, Anderson S (1997) Temporal, climatic and lunar factors affecting owl vocalizations of western Wyoming. *Journal of Raptor Research* 31:358-363.

Cramp S (1985) Handbook of the Birds of Europe the Middle East and North Africa. The Birds of the Western Palearctic Vol. IV, Terns to Woodpeckers. Oxford University Press, Oxford.

Delgado MM, Penteriani V (2007) Vocal behaviour and neighbour spatial arrangement during vocal displays in eagle owls (*Bubo bubo*). *Journal of Zoology* 271:3-10.

Delport W, Kemp AC, Ferguson JWH (2002) Vocal identification of individual African Wood Owls *Strix woodfordii*: a technique to monitor long-term adult turnover and residency. *Ibis* 144:30-39.

Dillon RW, Goldstein M (1984) Multivariate Analysis: Methods and Applications (Wiley Series in Probability & Mathematical Statistics). John Wiley & Sons.

Dragonetti M (2007) Individuality in Scops Owl *Otus scops* vocalizations. *Bioacustics The International Journal of animal Sound and its Recordings* 16:147-172.

Emlen JT (1973) Vocal stimulation in the Great Horned owl. *Condor* 75:126-127.

Favretto L, Campisi B, Favretto F (1999) Cross-Validation in Linear Discriminant Analysis of Triacylglycerol Structural Data from Istrian Olive Oils. *Journal of AOAC International* 82(6):1489-1494.

Fowler J, Cohen L (1999) Estadística básica en Ornitología. SEO/Birdlife, Madrid.

Freeman P (2000) Identification of individual Barred Owls using spectrogram analysis and auditory cues. *Journal of Raptor Research* 34:85-92.

Galeotti P (1998) Correlates of hoot rate and structure in male Tawny Owls *Strix aluco*: implications for male rivalry and female mate choice. *Journal of Avian Biology* 29 (1): 25-32.

Galeotti P, Paladin M, Pavan G (1993) Individually Distinct Hooting in Male Pygmy Owls *Glaucidium passerinum*: A Multivariate Approach. *Ornis Scandinavica* 24:15-20.

Galeotti P, Pavan G (1991) Individual recognition of male Tawny owls (*Strix aluco*) using spectrograms of their territorial calls. *Ethology Ecology & Evolution* 3:113-126.

Galeotti P, Pavan G (1993) Differential responses of territorial Tawny Owls *Strix aluco* to the hooting of neighbours and strangers. *Ibis* 135:300-304.

Galeotti P, Rubolini D (2007) Head ornaments in owls: what are their functions? *Journal of Avian Biology* 38:731-736.

Galeotti P, Sacchi R (2001) Turnover of territorial Scops Owls *Otus scops* as estimated by spectrographic analyses of male hoots. *Journal of Avian Biology* 32:256-262.

Galeotti P, Saino N, Sacchi R, MØLLER AP (1997) Song correlates with social context, testosterone and body condition in male barn swallows. *Animal Behaviour* 53:687-700.

Galeotti PR, Appleby BM, Redpath SM (1996) Macro and microgeographical variations in the 'hoot' of Italian and English tawny owls (*Strix aluco*). *Italian Journal of Zoology* 63:57-64.

Ganey J (1990) Calling behavior of spotted owls in Northern Arizona. *Condor* 92.

Gil D, Gahr M (2002) The honesty of bird song: multiple constraints for multiple traits. *Trends in Ecology and Evolution* 17:133-141.

- Guilford T, Dawkins M (1991) Receiver psychology and the evolution of animal signals. *Animal Behaviour* 42:1-14.
- Hair J, Tatham R, Anderson R, Black W (1998) Multivariate Data Analysis, 5th edition. Prentice-Hall.
- Hardouin LA, Robert D, Bretagnolle V (2008) A dusk chorus effect in a nocturnal bird: support for mate and rival assessment functions. *Behavioral Ecology & Sociobiology* 62:1909-1918.
- Hill FAR, Lill A (1998) Vocalisations of the Christmas Island Hawk-Owl *Ninox natalis*: Individual Variation in Advertisement Calls. *Emu* 98:221-226.
- Johnson DH, Van Nieuwenhuyse D, Génot JC (2007) Survey Protocol for the Little Owl (*Athene noctua*). Global Owl Project.
- Kissling M, Lewis S, Pendleton G (2010) Factors influencing the detectability of forest owls in Southeastern Alaska. *Condor* 112:539-548.
- Kroodsma DE, Byers BE, Goodale E, Johnson S, Liu WC (2001) Pseudoreplication in playback experiments, revisited a decade later. *Animal Behaviour* 61:1029-1033.
- Lambrechts M, Dhondt A (1986) Male quality, reproduction, and survival in the great tit (*Parus major*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 19:57-63.
- Lengagne T (2001) Temporal Stability in the Individual Features in the Calls of Eagle Owls (*Bubo bubo*). *Behaviour* 138:1407-1419.
- Lengagne T, Slater PJB (2002) The effects of rain on acoustic communication: tawny owls have good reason for calling less in wet weather. *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* 269:2121-2125.
- Lopes L (2009) Distribuição e ecologia de *A. noctua* e *T. alba* em zonas rurais. Universidade de Aveiro.
- Manual Canary (1993) A biologist's introduction to spectrum analysis. Appendix B.
- Martin P, Bateson P (2009) Measuring Behaviour: An Introductory Guide, third edition. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- McGregor PK, Byle P (1992) Individuality distinctive bittern boom: potencial as a census tool. *Bioacoustics* 4:93-109.
- Morton ES (1975) Ecological sources of selection on avian sounds. *American Naturalist* 109:17-34.
- Næs T, Mevik B-H (2001) Understanding the collinearity problem in regression and discriminant analysis. *Journal of Chemometrics* 15:413-426.
- Navarro J (2005) Differential Effectiveness of Playbacks for Little Owls (*Athene noctua*) Surveys Before and After Sunset. *Journal of Raptor Research* 39:454-457.

Otter K (1996) Individual variation in the advertising call of male Northern saw-whet owls. *Journal of Field Ornithology* 67:398-405.

Peake TM, McGregor PK (2001) Corncrake *Crex crex* census estimates: a conservation application of vocal individuality. *Animal Biodiversity and Conservation* 24(1):81-90.

Peake TM, McGregor PK, Smith KW, Tyler G, Gilbert G, Green RE (1998) Individuality in Corncrake *Crex crex* vocalizations. *Ibis* 140:120-127.

Penteriani V, Alonso-Alvarez C, Del Mar Delgado M, Sergio F, Ferrer M (2006) Brightness variability in the white badge of the eagle owl *Bubo bubo*. *Journal of Avian Biology* 37:110-116.

Penteriani V, Delgado MdM, Campioni L, Lourenço R (2010) Moonlight Makes Owls More Chatty. *PLoS ONE* 5:e8696.

Penteriani V, Gallardo M, Cazassus H (2002) Conspecific Density Biases Passive Auditory Surveys (Sesgo en la densidad conspecifica de censos auditivos-pasivos). *Journal of Field Ornithology* 73:387-391.

Price JJ (1998) Family- and sex-specific vocal traditions in a cooperatively breeding songbird. *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* 265:497-502.

Redpath S (1995) Habitat fragmentation and the individual: Tawny Owls *Strix aluco* in woodland patches. *Journal of Animal Ecology* 64:652-611.

Rognan CB, Szewczak JM, Morrison ML (2009) Vocal Individuality of Great Gray Owls in the Sierra Nevada. *The Journal of Wildlife Management* 73:755-760.

Silva R (2010) Enriquecimento Ambiental e Observação Etológica de Aves de Rapina Nocturnas (Strigiformes). Universidade de Aveiro.

Southern HN (1970) The natural control of a population of Tawny owls (*Strix aluco*). *Journal of Zoology* 162:197-285.

Stoddard P (1996) Vocal recognition of neighbors by territorial passerines. In Kroodsma D, Miller E (Eds.) *Ecology and Evolution of Acoustic Communication in Birds*. Cornell University Press, Ithacapp.

Sunde P, Bølstad MS (2004) A telemetry study of the social organization of a tawny owl (*Strix aluco*) population. *Journal of Zoology* 263:65-76.

Takats DL, Francis CM, Holroyd GL, Duncan JR, Mazur KM, Cannings RJ, Harris W, Holt V (2001) *Guidelines for Nocturnal Owl Monitoring in North America*. BeaverhillBird Observatory and Bird Studies Canada. Alberta, Edmonton. 32 pp.

Terry A, Peake T, McGregor P (2005) The role of vocal individuality in conservation. *Frontiers in Zoology* 2:10.

Todt D, Naguib M (2000) Vocal interactions in birds: The use of song as a model in communication. *Advances in the Study of Behaviour* 29:247-296.

Wiley RD, Richards DC (1982) Adaptation for acoustic communication in birds: sound transmission and signal detection. In Kroodsma DE, Miller EH, Quellet H (Eds.) *Acoustic Communication in Birds*. Academic Press. 131-181 pp.

Zar J (1999) *Biostatistical analysis* 4th. Prentice-Hall, Upper Saddle River, USA.

Zuberogoitia I, Campos LF (1998) Censusing owls in large areas: a comparison between methods. *Ardeola* 45(1):47-443.

Anexo I - A individualidade acústica: uma abordagem em cativeiro

A identificação de indivíduos é processo complexo que requer a captura, o manuseamento de e processos de marcação relativamente invasivos por vez impraticáveis por questões logísticas ou por motivos relacionados com o bem-estar animal (McGregor & Byle 1992). Assim, em ambientes de cativeiro, como centros de recuperação ou parques zoológicos, o reconhecimento individual acústico assume-se como uma ferramenta com uma enorme potencialidade. Posto isto foi no Centro de Ecologia e Recuperação de Animais Selvagens (CERVAS) (Figura 6) que se desenvolveram tentativas para testar as considerações supracitadas.



Figura 20. Vista geral das instalações do CERVAS (Brandão 2009).

Tendo em consideração a primordial função dos centros de recuperação, a saber, a recuperação física e comportamental dos indivíduos assegurando o bem-estar e a devolução à natureza dos mesmos, os estímulos acústicos visaram desencadear uma resposta vocal e simultaneamente atuar como enriquecimento sensorial. Todavia, considerou-se *à priori* que a probabilidade de obtenção de resposta vocal por parte dos indivíduos é claramente menor face ao habitat natural. O cativeiro, ainda que provisório neste caso, é por si só, uma situação limitante para os animais e mesmo em espécies altamente territoriais como a Coruja-do-mato seria sensato admitir um elevado grau de inibição vocal.

A estratégia de amostragem foi a mesma aplicada no contexto natural, recapitulando esquemas de emissão com 2 minutos de vocalização ativa seguidos de 3 minutos de silêncio. O *playback* foi emitido sensivelmente a 2 metros de solo com uma amplitude de distância de 5 a 20 metros (os 20 metros como distância máxima de gravação na espécie bufo-real por Lengagne 2001) da câmara de muda, para assegurar a resposta por parte da ave e garantir a menor perturbação possível (Figura 7).

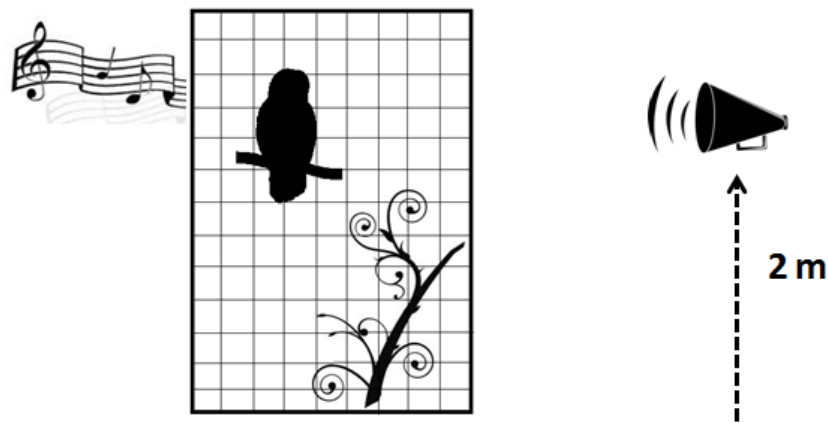


Figura 21. Representação esquemática da metodologia.



Figura 22. Registo fotográfico de um espécime de Coruja-do-mato (esquerda) e câmara de recuperação (direita).

Atentar no facto de ter sido colocado um indivíduo de cada vez na infraestrutura em rede, pré-requisito para a eficiente propagação do som, com 1 a 2 dias de habituação de acordo com a disponibilidade logística da equipa e do centro. Nesta fase foi assegurado o enriquecimento ambiental mínimo adequado à espécie, com a colocação de uma caixa-abrigo, poleiros semi-naturais – troncos de madeira e os demais recipientes alimentares (Figura 8). Não seria razoável prolongar a estadia dos indivíduos nesta câmara alternativa, dada as suas reduzidas dimensões e pelo facto de estarem privados do contacto com o resto da população em recuperação (entende-se o enriquecimento social, contacto com conspecíficos, como benéfico para o bem-estar).

Visou-se amostrar 4 indivíduos, a população adulta constante no momento de esforço de gravação no centro, contudo sem obtenção da resposta territorial por parte destes. As questões iniciais objetivaram o reconhecimento individual em centros de recuperação como técnica de marcação não-invasiva e adicionalmente recolher dados morfométricos do tarso, bico, asa e hemo e ectoparasitas como variáveis, numa abordagem geral, da performance vocal. A hipótese do empobrecimento do canto em cativeiro comparativamente ao habitat natural seria um dos aspetos a averiguar continuando em aberto para próximas investigações.

Anexo II - Ficha de campo



Folha de registo nº:
 Pontos (Zona):
 Data: .../.../.....
 Início:
 Ocaso:
 Escurecer:
 Lua:

Ruído 1 2 3 4
 Vento 1 2 3 4
 Nebulosidade 1 2 3
 Nevoeiro 1 2 3
 Luminosidade 1 2 3
 Temperatura (°C)

Pontos	Indivíduos		Resposta vocal		Distância (m)												Duração (min)
	M	F	S	N	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		

Observações:



universidade
de aveiro



departamento
de biologia



CERVAS
Centro de Ecologia, Recuperação e
Vigilância de Animais Selvagens



Anexo III – Códigos utilizados na quantificação das variáveis ambientais, adaptado de Takats *et al.* (2001)

Nebulosidade	Cobertura (%)	Descrição
1	0-30	Céu limpo / pouco nublado
2	30-70	Céu moderadamente nublado
3	70-100	Céu muito / completamente nublado

Luminosidade	Descrição
1	Baixa – Lua nova, encoberta ou ausente
2	Média – Quarto crescente, quarto minguante e entre nova e quartos (C e M ⁺)
3	Alta – Lua cheia e entre lua cheia e quartos (C ⁺ e M), quando descobertas

Nível de ruído	Descrição
1	Silêncio
2	Barulho que não distrai
3	Barulho significativo, podendo reduzir a probabilidade de detecção das respostas
4	Barulho muito significativo e constante

Vento	Escala de Beaufort	Velocidade (Km/h)	Indicadores de velocidade da Terra
1	0 -1	0 - 5	Calmo, o fumo sobre na vertical ou na direcção do vento
2	2	6 - 11	Sente-se o vento na face; as folhas mexem-se
3	3	12 - 19	Folhas e pequenos ramos em constante movimento
4	4	20 - 28	Levantamento de poeiras; pequenos ramos movem-se

Anexo IV – Interpretação e força dos valores de correlação (Fowler & Cohen, 1999)

Valor do coeficiente de correlação (positivo e negativo)	Significado
0,00 a 0,19	Correlação muito fraca
0,19 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 100	Correlação muito forte

Anexo V – Vocalizações na Coruja-do-mato

A Coruja-do-mato além da vocalização territorial, veiculada pelos machos e pela fêmea, possui outros tipos de vocalização ou chamamento, a saber a vocalização de contato o designado “Kewick”. É usado pelos dois sexos, tendo um papel ativo na comunicação intra-par, onde frequentemente se ouve um “kewick” de resposta ao *hooting* do macho muito associado à alimentação, por exemplo despoletado pela fêmea em solicitação de alimento por parte do macho (Cramp 1985). Na Figura 22, verifica-se que, contrariamente ao referido, o macho emite a vocalização de contato, e a fêmea a vocalização territorial (HF = 1230, FF = 760 e LF = 1110 Hz), discernido pelos valores de frequência da primeira nota (HF = 790, FF = 730 e LF = 430 Hz)

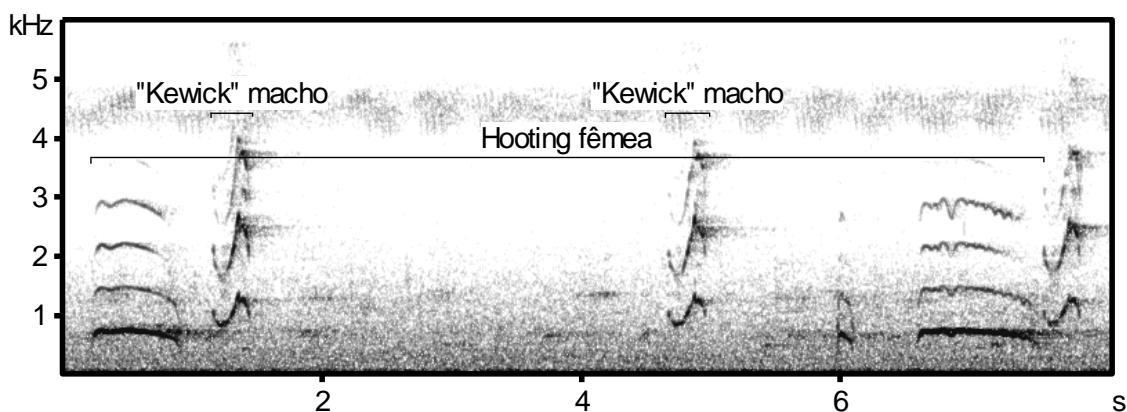


Figura 23. Vocalização de contato “kewick” do macho de resposta à vocalização territorial da fêmea.

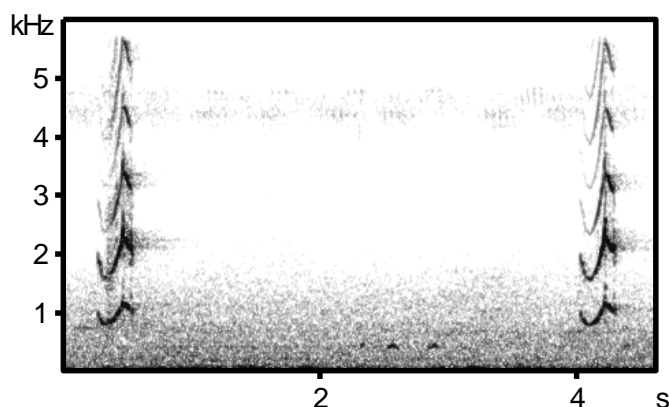


Figura 24. Vocalização de contacto “kewick” em destaque.

A vocalização de alarme exibida (Figura 24) por um fêmea com as os seguintes parâmetros acústicos HF = 1160, LF = 450, FF = 1000 Hz. É caracterizada por uma sequência rápida de notas, variável mas com mais frequência de dois a quatros

elementos, em repetição por consideráveis períodos de tempo. Pode ser verificada em situações de ameaça dos juvenis por parte de um intruso, onde a fêmea exibe esta vocalização para distração do oponente (Cramp 1985).

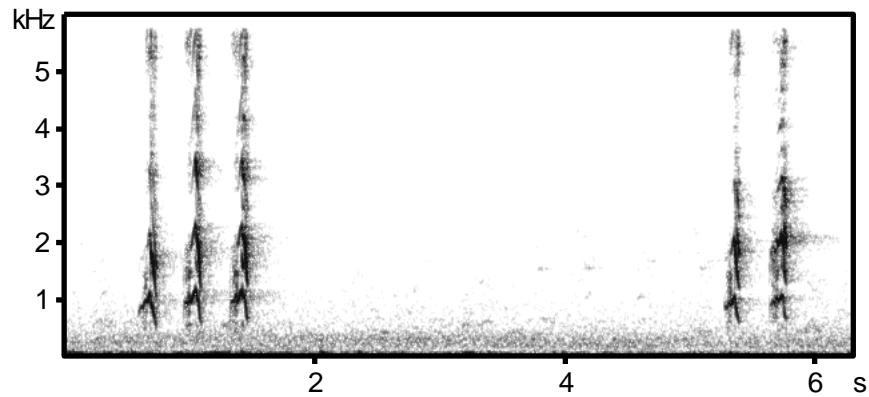


Figura 25. Vocalização de alarme.

O “Bubbling-call” (Figura 25) é definido por sons ondulantes, variável em ritmo e intensidade. É exercido por ambos os sexos, frequentemente verificado no Outono e Inverno, durante a inspeção do local de nidificação (Cramp 1985).

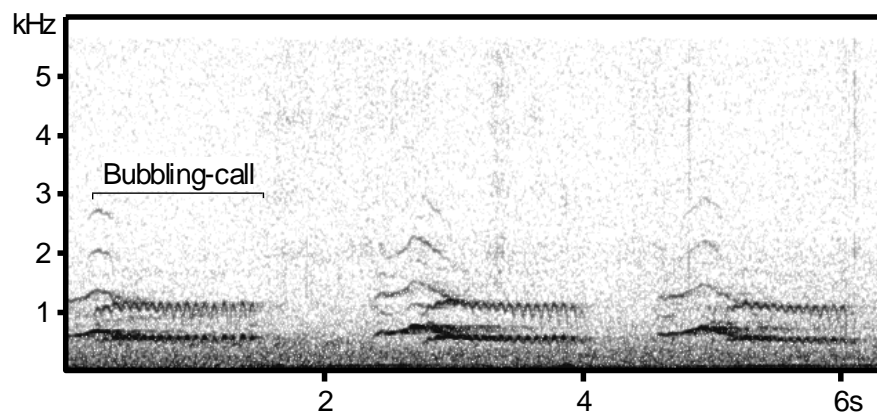


Figura 26. “Bubbling-call” da Coruja-do-mato.

Anexo VI – Caso particular da vocalização territorial

Num território na freguesia de Folgosinho foi encontrado um indivíduo, em dois anos diferentes, com uma vocalização altamente diferente da restante amostra. A sua vocalização territorial é caracterizada pela imprecisão do traço das notas, como que uma banda de ruído que impossibilitou a análise sobretudo de parâmetros de frequência daí a sua exclusão para o estudo de individualidade. Sabe-se que se trata do mesmo indivíduo ao longo do tempo pela sua elevada distinção ao nível auditivo e espectral. Ainda verifica-se que o território alberga um casal como evidenciado na Figura 26, nomeadamente pela presença da vocalização de contato “Kewick” do conspecífico do par.

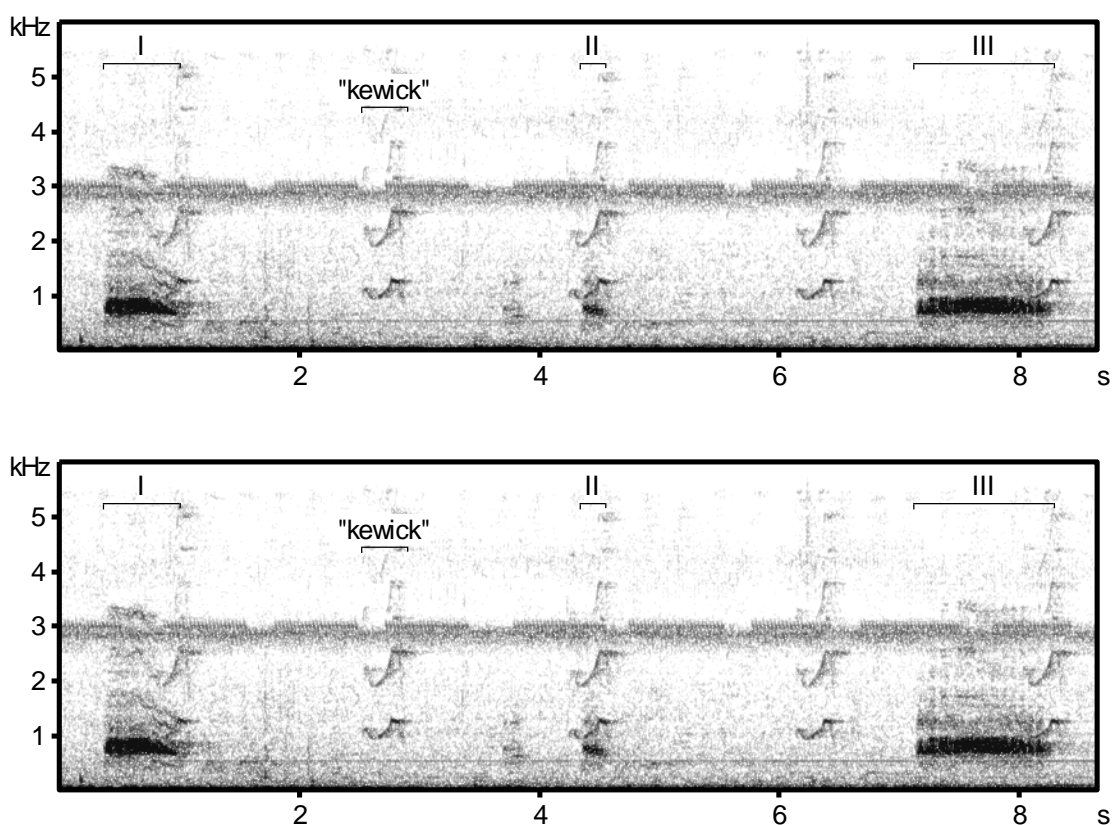


Figura 27. Sonogramas representativos da atípica vocalização territorial de um indivíduo de Folgosinho (cima – 2010 e baixo – 2012).

Este caso ímpar, em termos de variação vocal com a restante população amostrada, pode ser explicado à luz de variáveis não detetadas na gravação como o tamanho corporal (apenas indicação por comparação de frequências entre género), os níveis de

testosterona, a idade, a presença de parasitas, ainda a experiência do indivíduo e o grau de desenvolvimento neuronal (Galeotti 1998) que caracteriza este distinto (extremamente rouco) *hooting*. Ainda o tipo de habitat, concretamente, a estrutura da vegetação pode estar associado à expressão da particularidade deste indivíduo (Morton 1975; Brown & Handford 1996). Ainda de referir que esta singularidade pode ser reflexo de uma elevada componente “*harsh*” na vocalização, caracterizada por uma banda de ruído ao nível, principalmente da 1ª nota, mas aqui poderá estar generalizada ao longo do *hoot*. A característica “*harsh*” não depende do material de gravação, nem da distância ao indivíduo vocal, mas sim ao nível da agressividade da coruja. Assim, indivíduos com uma maior capacidade de defesa de território emitem mais frequentemente vocalizações deste tipo (Galeotti 1998).

O território é definido por uma macha florestal de castanheiros (*Castanea sativa*) (Figura 27), com espaços abertos adjacentes, reunindo condições aparentemente ótimas para a estabilização do casal.



Figura 28. Registo fotográfico do território em Folgoso.

